

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ
UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko – geologická fakulta

Katedra environmentálního inženýrství

**Intenzifikace separace nerozpuštěných látek z odpadních vod ze
smaltovny**

Autor:

Vojtěch Hrabec

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA

Faculty of mining and geology

Katedry of environmental engineering

**Intensification of Separation of Suspended Solids in Enamel
Wastewater**

Author:

Vojtěch Hrabec

Supervisor:

doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Vojtěch Hrabec**
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 2102R006 Technologie a hospodaření s vodou
Téma: **Intenzifikace separace nerozpuštěných látek z odpadních vod ze
smaltovny**
Intensification of Separation of Suspended Solids in Enamel Wastewater

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Průmyslové odpadní vody obecně
3. Smaltování - popis procesu a charakteristika odpadních vod
4. Odpadní vody ze smaltovny - odběr vzorků a jejich analýza
5. Experimenty intenzifikace separace nerozpuštěných látek ve vzorcích odpadních vod ze smaltovny, vyhodnocení naměřených výsledků
6. Diskuse a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

MALÝ, Josef a Petr HLAVÍNEK. Čištění průmyslových odpadních vod. Brno: Noel 2000, 1996. ISBN 80-86020-05-3.
PITTER, Pavel. Hydrochemie. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.
MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. Chemie a technologie vody. 2. doplněné vydání. Brno: Noel 2000, 2006. ISBN 80-86020-13-4.
Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění pozdějších předpisů

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

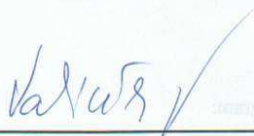
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.
vedoucí institutu




doc. Ing. Jan Valíček, Ph.D.
děkan fakulty

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30.4. 2018

Vojtěch Hrabec

Hrabec

Poděkování:

Tímto bych chtěl velice poděkovat vedoucí bakalářské práce, doc. Ing. Silvii Heviánkové Ph.D, za ochotu, spolupráci, čas a množství užitečných rad, které mi dala při konzultacích. Tyto rady mi byly velice nápomocny při zpracovávání mé bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat společnosti Vítkovice Envi za poskytnutou možnost odebrání vzorků a nahlédnutí do technologických listů. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, která je mi oporou.

Anotace

V bakalářské práci jsem se zabýval intenzifikací separace nerozpuštěných látek z odpadních vod ze smaltovny. Smaltovna se nachází v Ostravě Vítkovicích. Vzorky odpadní vody byly odebírány z technologického zařízení odlučovače. V první části, teoretické, jsem se zabýval průmyslovými odpadními vodami a tím, co to smalt je a co může obsahovat, případně jaké látky může obsahovat odpadní voda. V druhé části, praktické, jsem na vzorcích vody z odlučovače prováděl pokusy s koagulačními činidly v laboratoři za účelem snížení separace a intenzifikace nerozpuštěných látek obsažených v odpadní vodě.

Klíčová slova: smaltování, odpadní vody, koagulace, nerozpuštěné látky

Summary

In my bachelor thesis, I dealt with an intensification of separation of wastewater undissolved material from an enamel factory. The enamel factory is located in Ostrava-Vítkovice. Wastewater samples were taken from a technological device – separator. In the first theoretical part, I dealt with industrial wastewater, I looked at the question of what is 'enamel' and what is its structure and what materials can possibly be found in the wastewater. In the second practical part, I performed laboratory experiments with the separator wastewater using coagulating agents to lower the intensification of separation of the undissolved wastewater materials.

Key words: enameling, waste water, coagulation, undissolved substances

OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	CÍL PRÁCE.....	2
3	PRŮMYSLOVÉ ODPADNÍ VODY OBECNĚ.....	3
3.1	Druhy průmyslových odpadních vod.....	3
4	SMALTOVÁNÍ - POPIS PROCESU A CHARAKTERISTIKA ODPADNÍCH VOD.....	6
4.1	Definice smaltu.....	6
4.2	Popis výroby sklovitého smaltového povlaku.....	6
4.3	Složení smaltového skleněného povlaku technologie za mokra.....	9
4.3.1	Sklo.....	9
4.3.2	Jíl.....	10
4.3.3	Keramika.....	10
4.3.4	Voda.....	11
4.3.5	Další pevné látky – mlýnské přísady.....	11
4.4	Typy sklovitých smaltových povlaků.....	12
4.4.1	Základní smalty.....	12
4.4.2	Krycí smalty.....	12
4.4.3	Jednovrstvé smalty.....	13
4.5	Složení mnou zkoumaných smaltů a následné odpadní vody.....	13
4.5.1	Smaltářská břecha Ferro 22Ec.....	13
4.5.2	Smaltářská břecha Mafrit PP40821 (zelený).....	13
4.5.3	Smaltářská břecha Mafrit PP40821 (hnědý).....	13
4.5.4	Smaltářská břecha ZP30 84 (modrá).....	14
4.5.5	Smaltářská břecha KP 15 806 (bílá).....	14
4.6	Charakteristika odpadních vod.....	14

4.7	Koagulace.....	16
5	ODPADNÍ VODY ZE SMALTOVNY - ODBĚR VZORKŮ A JEJICH ANALÝZA	
	18	
5.1	Odlučovač č. 1.....	18
5.2	Odebírání odpadních vod	21
5.3	Charakteristika mnou odebrané vody.....	21
5.3.1	Chemická spotřeba kyslíku.....	22
5.3.2	Stanovení zákalu	25
5.3.3	Stanovení množství nerozpuštěných látek	26
6	EXPERIMENTY INTENZIFIKACE SEPARACE NEROZPUŠTĚNÝCH LÁTEK VE	
	VZORCÍCH ODPADNÍCH VOD ZE SMALTOVNY, VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH	
	VÝSLEDKŮ	28
6.1	Zkouška účinnosti koagulantů.....	28
6.1.1	Síran železitý.....	29
	Síran železitý 5% roztok $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	29
	Síran železitý Preflok 0,4 %	30
6.1.2	Chlorid železitý.....	31
	Chlorid železitý FeCl_3 25% roztok	31
	Chlorid železitý $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,5 %.....	32
6.1.3	Síran železnatý $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{ag}$ 20 %	33
6.1.4	Síran hlinitý $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ 5 %.....	34
6.1.5	Polyaluminiumchlorid	35
	Polyaluminiumchlorid Kemira PAX – HP 800wP	35
	Polyaluminiumchlorid PAX – XL60	36
	Polyaluminiumchlorid PAX XL 19	37
	Polyaluminiumchlorid PAX 18	38

6.2	Změny hodnot pH a vodivosti v závislosti na koagulačním a činidlu	39
6.2.1	Tabulka změny hodnoty pH vzorku č. 1 po nadávkování koagulačního a činidla	39
6.2.2	Tabulka změny hodnoty pH vzorku č. 2 po nadávkování koagulačního činidla	40
6.2.3	Tabulka změny hodnoty pH vzorku č. 3 po nadávkování koagulačního a činidla	41
6.3	Stanovení optimální dávky (experimentálně)	42
6.3.1	Ideální dávka Aluminiumchloridu Pax 18 na vzorek č. 1	42
6.3.2	Ideální dávka Aluminiumchloridu Pax 18 na vzorek č.2.....	44
6.3.3	Ideální dávka Aluminiumchloridu Pax 18 na vzorek č.3.....	45
6.3.4	Stanovení ideální dávky Síranu železitého 20 % u vzorku vody č.1.	46
6.3.5	Stanovení ideální dávky Síranu železitého 20 % u vzorku vody č. 2.	47
6.3.6	Stanovení ideální dávky Síranu železitého 20 % u vzorku vody č. 3.	48
6.3.7	Stanovení ideální dávky Chloridu železitého 25 % u vzorku vody č. 1.	49
6.3.8	Stanovení ideální dávky Chloridu železitého 25 % u vzorku vody č. 2.	50
6.3.9	Stanovení ideální dávky Chloridu železitého 25 % u vzorku vody č. 3.	51
6.4	Změna pH a vodivosti vzorku při optimální dávce koagulačního činidla	52
6.5	CHSK _{Mn} odpadní vody při nadávkování optimální dávky koagulačního činidla .	54
6.5.1	CHSK _{Mn} vzorku vody č. 3 po přidání optimálních dávek koagulačních činidel	54
6.5.2	CHSK _{Mn} vzorku vody č. 2 po přidání optimálních dávek koagulačních činidel	55
6.5.3	CHSK _{Mn} vzorku vody č. 1 po přidání optimálních dávek koagulačních činidel	56
6.6	Množství nerozpuštěných látek po přidání optimální dávky koagulačního činidla	57

6.6.1	Stanovení množství nerozpuštěných látek po přidání optimální dávky koagulačního činidla do vzorku vody č. 3	57
6.6.2	Stanovení množství nerozpuštěných látek po přidání optimální dávky koagulačního činidla do vzorku vody č. 2	58
6.7	Snížení zákalu u vzorků vody při optimálních dávkách koagulačních činidel	59
6.7.1	Zmenšení zákalu ve vzorku vody č. 3 s optimálními dávkami koagulačních činidel	59
6.7.2	Zmenšení zákalu ve vzorku vody č. 2 s optimálními dávkami koagulačních činidel	60
7	DISKUSE.....	61
8	ZÁVĚR	62
	Seznam použité literatury	1
	Seznam použitých zkratek	3
	Seznam obrázků.....	4
	Seznam tabulek.....	6

1 ÚVOD

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval separací a intenzifikací odpadních vod z provozu smaltovny v Ostravě Vítkovicích. Z důvodu hojného využívání smaltu i v dnešní době, používá se v domácnostech tak i v průmyslových odvětvích. Z tohoto důvodu je nutné zlepšit separaci a intenzifikaci nerozpuštěných látek. Abychom do přírody nevypouštěli zbytečně velké množství nerozpuštěných látek, je nutné co největší množství zachytit. Z tohoto důvodu jsem si vybral toto téma na svou bakalářskou práci.

V teoretické části své bakalářské práce se budu nejprve zabývat odpadními vodami, jak mohou vznikat, jejich složením a nebezpečností při vypouštění do kanalizační sítě. Poté přejdu k samotnému smaltu. K jeho složení a případnému ovlivnění vlastností v závislosti na jeho složení. Proces výroby smaltéřské břechky, popis technologické linky na výrobu a nanášení smaltu. Vznik a následný postup odpadní vody z nástřiku smaltu na plechy.

V praktické části své bakalářské práce se budu zabývat složením odpadní vody ze smaltovny, která bude odebrána z technologického zařízení zvané odlučovač. V laboratoři budu zjišťovat hodnoty pH, vodivosti, CHSK_{Mn} , množství nerozpuštěných látek, zákal ve vzorcích. Dále budu na vzorcích testovat účinnost koagulačních činidel. Určím si optimální dávky koagulačních činidel a poté opět provedu měření pH, vodivosti, CHSK_{Mn} , množství nerozpuštěných látek a zákal u vzorků.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je zjištění účinnosti koagulačních činidel na odpadní vodu ze smaltovny, odebranou z technologického zařízení odlučovače. V praktické části se budu zabývat účinností koagulačních činidel na intenzifikaci a separaci nerozpuštěných látek v odpadní vodě ze smaltovny. Toto zlepšení by mělo být patrné u množství nerozpuštěných látek, snížení zákalu a také u CHSK_{Mn} u vzorků odpadní vody. Tyto hodnoty by se měly dostat pod maximální hodnotu, kterou nám udává nařízení vlády č.401/2015 Sb.

3 PRŮMYSLOVÉ ODPADNÍ VODY OBECNĚ

Průmyslové odpadní vody jsou vody, u kterých se změnily jejich chemické nebo fyzikální vlastnosti. Průmyslové odpadní vody mají rozdílný charakter znečištění, na rozdíl od vod splaškových, u kterých se charakter nemění. Průmyslové odpadní vody jsou znečištěny podle druhu průmyslu a výroby v něm, mají typické vlastnosti a složení.

3.1 Druhy průmyslových odpadních vod

Průmyslové odpadní vody můžeme rozdělit podle typu znečišťujících látek na větší měrou anorganicky znečištěné a větší měrou organicky znečištěné odpadní vody. Bohužel ve většině provozů se jedná o vody přechodného typu, u nichž je nezanedbatelné organické i anorganické znečištění. [17], [13], [9]

Ve vodách spíše anorganicky znečištěných se vyskytují znečišťující látky v rozpuštěné nebo nerozpuštěné formě. Tyto látky mohou být toxické nebo netoxické a je možné je dále dělit na vody znečištěné:

- anorganicky nerozpuštěnými látkami (odpadní vody z praní uhlí, keramického a sklářského průmyslu apod.)
- anorganicky rozpuštěnými látkami netoxickými (odpadní vody z výroby draselných a fosforečných hnojiv, moření železa apod.)
- anorganickými rozpuštěnými látkami toxickými (vody z povrchové úpravy kovů, radioaktivní vody apod.).

Při čištění se zpravidla používají fyzikálně-chemické a chemické postupy. Není nutné na tyto vody využívat biologické čištění. Pokud se v odpadních vodách nenalézají toxické látky, je možno tyto vody vypouštět přímo do recipientu. [17], [13]

Ve vodách spíše organicky znečištěných využíváme procesy biologické přímo na čistírně odpadních vod, nebo čištění s vodami splaškovými na ústřední čistírně odpadních vod. Organické látky v průmyslovém podniku se mohou ve vodě vyskytovat jako rozpuštěné i jako nerozpuštěné. Organické látky se dále dělí do čtyř skupin podle možného biologického rozložení:

- netoxické a biologicky rozložitelné látky (např. sacharidy, bílkoviny, tuky, alifatické kyseliny a jejich deriváty)
- netoxické a obtížně biologicky rozložitelné látky (např. alifatické a aromatické sloučeniny s rozvětveným alkylem, vysokomolekulární polyglykoly, některá aromatická barviva)
- toxické a biologicky rozložitelné látky (fenoly, organofosforové sloučeniny, chlorfenoly, nitrofenoly)
- toxické a biologicky obtížně rozložitelné látky (např. chlorované uhlovodíky, nitroaniliny, některé kationtové tenzidy). [17], [13]

Přibližné složení průmyslové odpadní vody lze určit pomocí látkové bilance a rozбором technologického procesu, kde se odpadní vody vytváří. Je možné je určit pomocí složení výchozích surovin, meziproductů, produktů výroby a z nich lze určit kvalitativní a případně i kvantitativní znečištění. Pokud známe hodnoty TSK(CHSK), specifické BSK₅, specifického TOC těchto látek, množství odpadních vod, podle těchto ukazatelů můžeme předpokládat jejich znečištění, které vyjadřujeme v ukazatelích (CHSK, BSK, DOC). Ukazatele se mohou měnit, pokud nastaly chemické reakce. [17], [13], [9], [20]

Jedno ze základních stanovení jsou nerozpuštěné látky a stanovení nerozpuštěných látek žíhaných. V legislativě jsou označovány jako rozpuštěné anorganické soli (RAS). Stanovení rozpuštěných nebo nerozpuštěných látek žíháním je pouze přibližným ukazatelem koncentrace organických látek. Výsledky stanovení je nutné hodnotit obezřetně, protože nám mohou dávat zkreslené údaje o skutečném složení odpadní vody. Objektivní mírou určení koncentrace anorganických látek je výpočet celkové mineralizace. [17], [13]

Dalším údajem, který musíme sledovat, je hodnota pH a neutralizační kapacita vody. Tyto údaje nám říkají, jaké má voda acidobazické vlastnosti. Když vodu hodnotíme, musíme zjistit, z jaké příčiny má voda kyselou nebo zásaditou povahu a zda je možné kyselost nebo zásaditost upravovat. [17], [13]

U průmyslových odpadních vod je důležité stanovení neutralizačních kapacit především z technologického hlediska. Jedná se o množství spotřebované kyseliny nebo zásady na neutralizaci odpadní vody, než je voda vypuštěna do recipientu, kanalizace, nebo před biologickým čištěním. Stanovujeme KNK, respektive ZNK do hodnoty pH okolo neutrálního bodu (např. $KNK_{7,0}$, respektivě $ZNK_{7,0}$), kdy je voda neutrální. [17], [13]

Další důležitý ukazatel je stanovení celkového dusíku a jeho forem a stanovení fosforu. Je nutné toto provádět, abychom mohli usoudit, jaký bude vliv nutrientů na recipient (eutrofizace toku) a z důvodu vhodného poměru nutrientů pro možnost biologického čištění odpadní vody (dostatečný poměr je $BSK_5: N: P = 100: 5: 1$). [17], [13]

Z nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění pozdějších předpisů jsem zjistil maximální přípustné hodnoty pH, množství nerozpuštěných látek, $CHSK_{Cr}$ pro vypouštění odpadních vod do kanalizace. Tyto hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 1. [19]

pH	6-9	-
Nerozpuštěné látky	30	mg/l
$CHSK_{Cr}$	300	mg/l

Tabulka 1 Tabulka maximálních přípustných hodnot pro vypouštění průmyslových odpadních vod do kanalizace podle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [19]

4 SMALTOVÁNÍ - POPIS PROCESU A CHARAKTERISTIKA ODPADNÍCH VOD

Smaltování je proces, kdy se na kovový materiál nanáší vrstvička sklovitého materiálu, která kov chrání před okolními vlivy. Smalt je nekovový anorganický materiál, který má dobrou chemickou odolnost, malou vodivost tepla, vysokou tvrdost a pevnost v tlaku. Bohužel smalt má nižší pevnost v tahu a je křehký, může u něj také docházet k porušení lomem.

4.1 Definice smaltu

Smalt je výrobou i svou podstatou sklo velice komplikovaného chemického složení, které se nanáší na podkladový kovový materiál a tvoří na něm ztuhlou anorganickou vrstvičku sklovité hmoty, která se dá natavit v jedné nebo více vrstvách na kovový předmět. [14], [7], [2]

4.2 Popis výroby sklovitého smaltového povlaku

Nejprve se musí roztavit oxidické složky křemene (například: SiO_2 , Al_2O_3 , CaF_2 , K_2O , B_2O_3 , MnO_2 , CaO), tyto složky získáme ze surovin na bázi sklářských písků, uhličitánů, živců. Nově vzniklá tavenina skloviny specifického chemického složení se musí prudce ochladit. Převážně se lije do vody a vznikají granule nebo šupinky skla, ty se nazývají smaltéřská frita. Tento proces nazýváme fritování, frita je hlavní složkou při výrobě smaltového povlaku a udává, jaké bude mít funkční a technologické vlastnosti. [16]

Dalším krokem je sušení frity a odstraňování vody z granulí a šupin skla po fritování. Frity se následně dělí podle postupu nanášení, a to za mokra nebo za sucha. Nanášení za mokra probíhá za pomoci suspenze, tu nazýváme smaltéřská břecha. Nanášení za sucha probíhá za pomoci práškové smaltéřské frity. [16]

Dalším krokem je mletí smaltéřské frity, suchý prášek se upravuje pro technologii nanášení pudrováním nebo v elektrickém poli vysokého napětí (prášek je obalován deriváty silanů proto, aby byl zvýšen měrný elektrický odpor).



Obrázek 1 Kulový mlýn, foto autor [3]

Na Obrázku 1 můžeme vidět kulový mlýn, ve kterém se melou složky smaltéřské břčky, smaltéřská břčka se skládá z jílu, vody a dalších pevných látek, přísad. Tyto suroviny se melou v kulových (bubnových) mlýnech. Na mletí se používají keramické koule různých velikostí. Smaltéřská břčka získá svůj práškový charakter díky tření částic a nárazům o mlecí koule nebo vyzdívkou. Suspenze se mele na předepsanou jemnost mletí, ta se zkouší Bayesovou nálevkou, na které jsou vyznačeny stupně jemnosti mletí. Tato zkouška nám říká, jaký je podíl tuhých částic v daném objemu smaltéřské břčky, který zůstane na kalibračním sítu, které má hustotu ok $3600/\text{cm}^2$. Dalším důležitým ukazatelem je hustota, ta se měří pyktometricky. Poslední zkouškou je zkouška viskozity. Smaltéřská břčka nebo prášek se nanáší na podkladový kovový materiál. Smaltéřská břčka je čerpána za pomoci membránových čerpadel do zásobníků, ty jsou umístěny v prostorech kabin. Nástřik smaltu je prováděn ze dvou kabin. Každá z kabin je rozdělena na dvě části, aby byl zajištěn nástřik vnější i vnitřní plochy plechu. V každé polovině kabiny nalezneme dvě stříkácí pistole. Vrstvu smaltu je vhodné kontrolovat pomocí hřebenové měrky na mokřém nános. [16]

Po nanesení smaltéřské břechky na podkladní materiál nastává doba sušení a následné vypalování. Sušení i vypalování se provádí v tunelové peci. Sušení probíhá za přístupu odpadního tepla (200–300 °C) z vypalovací části pece. Část sušící a část vypalovací jsou od sebe odděleny vzduchovou clonou. Vypalování probíhá za teploty 840–870 °C ve 21 m dlouhé vypalovací části pece. Výhřev pece je zajištěn topnými spirálami. [16]

Předposledním krokem výroby je ochlazování plechů se smaltovým povlakem po výjezdu z vypalovací části pece. Posledním krokem je tzv. umělé zrání smaltu. Cílem tohoto procesu je urychlení fyzikálně chemických procesů, které mohou vést ke vzniku vad. Smaltované plechy zrají v buňkách a obvykle to trvá jeden týden při teplotě 110–130 °C. Tloušťku výsledného smaltu můžeme změřit pomocí digitálního tloušťkoměru. [16]

Proces nanášení smaltu můžeme opakovat a budeme mít vícevrstvý smaltový povlak na jednom kovovém podkladovém materiálu. Bohužel při vícevrstvě nanášení sklovitého povlaku jsou znovu tepelně namáhány předchozí podkladní vrstvy. Dalším posunem ve vývoji vícevrstvých sklovitých smaltových povlaků je technologie jednoho výpalu. Při této technologii je na podkladový kovový materiál nanесena vrstva smaltéřské břechky nebo prášku. Z této vrstvy vzniká podkladová vrstva a hned na ni se nanáší krycí vrstva smaltu. Po tomto nanesení nastává čas sušení a následného výpalu obou vrstev najednou (u práškového nanášení odpadá proces sušení). Ke spojení podkladového kovového materiálu a sklovitého smaltu dochází v průběhu vypalování při teplotě 800–900 °C. Díky fyzikálně chemickým reakcím za pomoci tepla vzniká složený sklokeramický komplex, který je složený z podkladového kovového materiálu, adhezní mezivrstvy a sklovitého smaltu. Tento komplex má lepší fyzikální vlastnosti, a to v důsledku spojení obou složek. Díky tomu můžeme zařadit spojení kov – smaltový skleněný povlak mezi kompozitní materiály. Spojuje dobré vlastnosti jako je plastičnost kovu a antikorozi odolnost skla. Struktura smaltu je dosti podobná keramickým materiálům. Mírně převažuje výroba smaltu za mokra. [12], [1], [10], [16]

4.3 Složení smaltového skleněného povlaku technologie za mokra

Sklovitý povlak vzniká vypalováním nanesené vrstvy, nebo vrstev smaltéřské břčky, která vzniká ze smaltéřské frity, již tvoří jíly, pevné látky a přísady, barviva a voda. Vlastnosti výsledného sklovitého materiálu nejvíce ovlivňuje složení smaltéřské frity a následné smaltéřské břčky.

Smaltéřská břčka nemá stejné chemické složení jako smaltový povlak. Když se nanesená suspenze suší, vzniká vrstvička bisguitu, kterou když vypálíme, vzniká vrstvička smaltu. [1], [16]

4.3.1 Sklo

Sklo je amorfní, pevné, anorganické, vzniklé tuhnutím bez krystalizace. Převážná většina obsahuje sloučeninu SiO_2 . Fyzikální vlastnosti skla se mění plynule s teplotou, a to kvůli jeho vnitřní struktuře. Struktura křemičitých skel je složená z tetraedru SiO_4 , v jehož středu se nachází kationt křemíku obklopený čtyřmi anionty kyslíku. Vazby mezi nimi jsou iontově kovalentní, mají vysokou pevnost.

Ve sklech nalezneme mimo SiO_2 i další oxidy, podle jejich úlohy při tvoření skelné sítě je můžeme rozdělit na:

- sklotvorné neboli síťotvořiče (SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 ,...)
- modifikátory neboli pozměňovače (Na_2O , K_2O ,...).

Mezi oběma skupinami se ještě vyskytují oxidy přechodné (Al_2O_3 , MgO , ...).

Sklotvorné oxidy jsou schopny tvořit síť samy, modifikátory ji utvořit samy nedovedou, jsou schopny ji pouze pozměnit. Modifikátory mohou upravit vlastnosti skla, například snížit teplotu tavení skla díky narušení některých vazeb Si-O, pomocí kationtů, které nacházejí místo v dutinkách skelné sítě a nadbytečné anionty kyslíku přerušují vazbu Si-O. Některé z nich mohou i zhoršovat vlastnosti, třeba Na_2O zhoršuje chemickou odolnost skla, proto je nutné přidávat jiné stabilizující prvky. [1], [15], [11]

Skla mohou obsahovat strukturní vady a diskontinuitu, které mohou vznikat separací mikrofází, heterogenní nukleací a řadu dalších. Tyto vady mohou vzniknout nedostatečnou homogenizací nebo protavením. Pokud těmto vadám nepřiložíme velký význam, můžeme sklo všeobecně považovat za homogenní, izotropní a jeho vlastnosti se nemění ve všech směrech a libovolných objemech. [1], [15], [11]

V procesu smaltování je potřeba, aby fritta měla nízkou tavící teplotu 1000 – 1200 °C. Kvůli tomu se v silikátové struktuře frity uplatňují vlastnosti modifikátoru Na₂O, CaO. Smaltéřská fritta není vyčerená (zbavená plynů) a někdy ani zcela homogenní, může obsahovat rodící se krystaly nebo mikrokristaly. Ty následně dodávají specifické vlastnosti smaltu (např. skelně krystalické povlaky). Je nutné ji namlet na vhodnou velikost částic. [1], [15], [11]

4.3.2 Jíl

Jíly patří do kategorie plastických zemin, používají se pro výrobu keramiky. Jíl se používá jako jedna ze složek smaltéřské břčky, která se nanáší za mokra. Má funkci udržovat namleté částčky frity v suspendovaném stavu a zabránit její sedimentaci. Další funkcí je schopnost udržet pevnost vysušené suspenze (bisguitu). Naleziště jílu velice ovlivňují jeho kvalitu a tím i kvalitu výsledného smaltu. Používají se méně hodnotné jíly modrého typu, tyto jíly obsahují větší množství volného oxidu křemičitého. Jíl má vhodnou plasticitu a ovlivňuje viskozitu, mez tečení. Stará se o vhodnou pevnost vysušeného smaltu. [16], [15]

4.3.3 Keramika

Keramikou rozumíme pevné nekovové anorganické polykrystalické látky, které se vytvořily slínováním (vypalováním) práškových surovin za vysokých teplot. Druhy keramiky se od sebe liší strukturou, chemickým složením a svými vlastnostmi. Výroba tradičním způsobem se zakládá na použití jemných plastických zemin (kaolinu, jílu). Vlastnosti těchto plastických zemin jsou dány přírodními podmínkami naleziště. Strukturu keramiky můžeme považovat za heterogenní, polyfázovou a polykrystalickou. Pokud chceme zkoumat keramiku, je nutné se zaměřit na charakter, vzájemné uspořádání různých fází (tzv. mikrostruktury). Hlavní znaky mikrostruktury jsou druhy vzniklých krystalů, z jakého druhu skla se vytvoří skelná fáze, která vznikne při roztavení taviv a sklotvorných

složek při vypalování, vliv na to má velikost zrn, možnosti spojování zrn mezi sebou a na vztahu zrn a skelné fáze. Ve smaltéřské břečce se vyskytuje podíl jílových částic a vypalovací teplota smaltu je v rozmezí od 800–900 °C, můžeme zde vidět určitou podobnost s keramikou. [16], [15]

4.3.4 Voda

Voda je velice důležitou složkou smaltéřské břečky. Při procesu mletí smaltéřské frity, která se mele společně s vodou a jílem, začíná docházet ve smaltéřské břečce k fyzikálně chemickým reakcím. Tyto reakce jílu, vody a sklovité smaltéřské frity pokračují při skladování břečky až do té doby, dokud není nanесena na kovový podkladový materiál a není vysušena. Množství vody ve smaltéřské břečce po semletí se pohybuje v rozmezí 30 až 45 %. Množstvím vody můžeme ovlivnit i výslednou kvalitu sklovitého smaltového povlaku. [16], [15], [5]

4.3.5 Další pevné látky – mlýnské přísady

Za účelem zlepšení mechanických, optických, chemických, tepelných vlastností smaltu a úpravu strukturálních vlastností smaltéřských suspenzí (břeček) se používá řada pomocných surovin. Přidávají se do smaltéřské břečky při procesu mletí. Mohou to být přísady žáruvzdorné, například mletý křemen, přísady ovlivňující optické vlastnosti tím, že v průběhu vypalování částečně krystalizují, například oxid titaničitý, dále pak přísady upravující barvu (barviva), které výslednému smaltu dodávají požadovaný odstín barvy. Jako barviva se používají oxidy nebo kyslíkaté sloučeniny kovů, které jsou běžně dostupné, také sulfidy a selenidy. Vhodnost k použití je ovlivněna stabilitou barvy v rozsahu vypalování smaltu, dále pak vysokou barvicí schopností při co nejmenší dávce příslušné látky. Pro krátkodobou ochranu kovových materiálů při procesu sušení se používá dusitan sodný, bohužel je hygienicky závadný. Ještě se mohou používat stavěcí přísady, které upravují reologické vlastnosti smaltéřské břečky. [16], [15]

4.4 Typy sklovitých smaltových povlaků

Smaltové povlaky mají rozdílné vlastnosti podle druhu frity, ze které jsou vytvořeny. Podle složení frity a podkladního kovového materiálu dělíme smalty na:

- smalty na ocelový plech
- smalty na šedou litinu
- smalty na neželezné kovy (hliník a jeho slitiny).

Nejvíce používané jsou smalty, které se používají na šedou litinu a na ocelový plech.

Smalty také můžeme dělit podle toho, jakou budou mít funkci na podkladovém kovovém materiálu, a to na základní, krycí a jednovrstvé. V praxi se využívá pro smaltování oceli aplikace dvou vrstev smaltu – základního (tato vrstva se nanáší přímo na kovový podklad) a krycího (tato vrstva se nanáší přímo na vrstvu základního smaltu). Je možné využívat i technologii jednovrstvého smaltování, kdy je smalt upraven na přímé natavení na kovový podklad. [15]

4.4.1 Základní smalty

Charakteristickým znakem základního smaltu, který je na bázi přídržných oxidů CoO a NiO , je schopnost vytvoření přídržné mezivrstvy mezi kovovým podkladem a funkčním povlakem smaltu. Většinou jsou to smalty málo chemicky odolné a s malou celistvostí. Tyto povlaky se mohou používat i samostatně, ale jen v případech, kdy jsou na smalt kladeny pouze minimální požadavky z hlediska antikoroze ochrany. Vypalovací teplota základního smaltu je vyšší oproti vypalovací teplotě smaltu krycího o 20–40 °C. Také tloušťka základního smaltu by měla být co nejmenší, měla by se pohybovat v rozmezí 80–120 μm . [16], [15]

4.4.2 Krycí smalty

Krycí smalt je funkční povlak, který přichází do styku s agresivními látkami, proto se musí přizpůsobit jeho výsledné vlastnosti (chemická odolnost, termické změny a mechanické namáhání). Krycí smalty se dělí podle použité frity na zakalené smalty, ty se mohou vyskytovat jako bílé nebo barevné, a dále na smalty polotransparentní a transparentní. [16], [15]

4.4.3 Jednovrstvé smalty

Jedná se o speciální druh smaltu základního nebo krycího. U tohoto typu smaltu byly upraveny vlastnosti, aby byla docílena dobrá přídržnost smaltu na kovovém materiálu a zároveň bylo docíleno požadovaných vlastností: chemická odolnost, mechanické, termická odolnost a kompaktnost. [16], [15]

4.5 Složení mnou zkoumaných smaltů a následné odpadní vody

Smalty jsou charakteristické složením smaltéřské frity. V této kapitole se budu zaměřovat na smaltéřské břčky, které se používají ve společnosti Vítkovice ENVI. Jednotlivé smaltéřské břčky se od sebe liší svým složením a svým budoucím využitím. Díky rozdílnému chemickému složení smaltéřských břček se liší i následné odpadní vody z jednotlivých druhů smaltéřských břček. [16], [15]

4.5.1 Smaltéřská břčka Ferro 22Ec

Můžeme ji považovat za základní smaltéřskou břčku na ocelové plechy, nemá zvýšenou chemickou odolnost a neobsahuje nikl. Je složena z frit Ferro, mikromletého písku (křemenného), jílu, korundu, bentonitu, dusitanu sodného, kyseliny borité, uhličitanu hořečnatého a vody. [15]

4.5.2 Smaltéřská břčka Mafrit PP40821 (zelený)

Je jedním z krycích smaltů, má dobrou chemickou odolnost. Nanáší se na základní vypálený smalt. Tento typ smaltu má zelený odstín, ten je dosažen pomocí barvitek. Jeho chemické složení je z frity PP 40821, mikromletého písku (křemene), jílu, kyseliny borité, dusitanu sodného, uhličitanu draselného, barviv (chromové zeleně, modrozelené, černé) a vody. [15]

4.5.3 Smaltéřská břčka Mafrit PP40821 (hnědý)

Je jedním z krycích smaltů, je dobře odolný vůči chemickým a agresivním látkám. Nanáší se na vypálený základní smalt, barevného odstínu je dosahováno pomocí barvitek. Složení je z frity PP 40821, mikromletého písku (křemene), jílu, kyseliny borité, dusitanu sodného, uhličitanu draselného, barviv červenohnědé, tmavě hnědé a vody. [15]

4.5.4 Smaltářská břecha ZP30 84 (modrá)

Jedná se o krycí smalt, využívající se pro méně náročné provozy, kde není nutná zvýšená chemická odolnost, třeba pro pitnou a užitkovou vodu. Výsledný smalt má atest na styk s pitnou vodou a potravinami. Nanáší se na vypálený základní smalt. Je složený z Frit, mikromletého pisku (křemene), jílu, kyseliny borité, dusitanu sodného, uhličitanu hořečnatého, uhličitanu draselného a vody. [15]

4.5.5 Smaltářská břecha KP 15 806 (bílá)

Jedná se o krycí smalt, tento smalt má zvýšenou chemickou odolnost hlavně v kyselé a neutrální oblasti. Má také atest, že může přijít do styku s pitnou vodou a potravinami. Je možné jej také používat pro dekorativní účely (náписy, loga). Nanáší se na vypálený základní smalt nebo na jiné vypálené krycí smalty. Je složený z Frity, jílu, dusitanu sodného, chloridu draselného a vody. [15]

4.6 Charakteristika odpadních vod

Odpadní vody ze smaltovny jsou specifické svým složením. Odpadní vody se také liší tím, z jaké smaltovny jsou a jaký využívají proces. Máme dva procesy, mokrý a suchý. Na území české republiky se nachází několik větších smaltoven, nejvýznamnější jsou: Vítkovice ENVI a.s., sídlící v Ostravě Vítkovicích, Sfinx a.s., sídlící v Českých Budějovicích, MORA Moravia s.r.o., sídlící v Mariánském údolí u Olomouce.

Mnou charakterizované odpadní vody pochází ze smaltovny Vítkovice ENVI a.s., která se nachází v Ostravě Vítkovicích. V tomto provozu se smalt na podkladový kov nanáší mokrým způsobem, tudíž je v odpadní vodě velké množství jemně suspendovaných látek o malé velikosti částic. Tyto částice špatně sedimentují, a proto musí procházet přes odlučovače. V tomto provozu se nachází dva odlučovače. Odlučovače mají za úkol na dostatečně dlouhou dobu zdržet odpadní vodu s jemně rozptýlenými nerozpuštěnými látkami. Bohužel ani toto zdržení není dostačující pro účinné odstranění špatně sedimentujících látek. Na výstupu je větší množství jemně suspendovaných látek než je přípustné. Odpadní voda má hodnotu pH od 6 do 9,5 která se liší podle druhu smaltářské břechky, která se aplikuje na ocelový plech. Odpadní voda bohužel nesplňuje ani přípustnou hodnotu chemické spotřeby kyslíku, určené chromanem v žádném druhu smaltářské břechky. Tato hodnota je vyšší než přípustná hodnota 300 mg/l. Hodnota $CHSK_{cr}$ v průběhu

výroby kolísá, proto je důležité, kdy odpadní vodu odebíráme a také jaký druh smaltéřské břečky je používán, každý má jiné chemické složení. Dále v odpadní vodě můžeme chemickým rozbohem zjistit malé množství hliníku, kobaltu, chromu a stopové množství mědi, niklu, zinku, které se také liší typem smaltéřské břečky, například základní smaltéřská břečka typu FERRO 22 EC neobsahuje nikl. Maximální množství vypouštěné vody na výtok z odlučovače je množství 2 l/s a maximální množství za rok 300 m³/rok. V Tabulce 2 jsou uvedeny maximální hodnoty znečištění při vypouštění do kanalizace. [16]

Ukazatel	Jednotka	Přípustná míra znečištění OV
Extrahované látky	mg/l	60
pH		6-9
CHSK _{Cr}	mg/l	300
Nerozpuštěné látky	mg/l	200
Hliník	mg/l	10
Kobalt	mg/l	1,5
Chrom celkový	mg/l	0,1
Měď	mg/l	0,5
Nikl	mg/l	4
Zinek	mg/l	0,8
Uhlovodíky C ₁₀ – C ₄₀	mg/l	10

Tabulka 2 Tabulka přípustného znečištění na odtoku ze smaltovny [16]

4.7 Koagulace

Koagulace je proces, při němž se shlukují koloidní a makromolekulární organické částice do větších celků. Tyto částice se ve vodě nacházejí i v přírodě. V mém případě se tyto částice vyskytují ve vodě z provozu smaltovny.

Proces koagulace je komplexem několika mechanismů, při nichž dochází k destabilizaci částic, ty se poté mohou shlukovat do větších celků. V praxi se využívají hlavně dva fyzikálně chemické postupy:

- přidání koloidu s opačným povrchovým nábojem
- změna pH vody.

Je nutné v daném systému vytvořit koloidy s opačným povrchovým nábojem. Následně dojde k vyrovnání nábojů, začínají se vytvářet malé elektro neutrální agregáty. Tyto agregáty se budou spojovat do větších agregátů. Agregáty musí vyrůst do separovatelné velikosti. Dostatečně velké agregáty odstraňujeme na filtrech. [18]

Tento princip se využívá u většiny koagulačních činidel. Koagulační činidla následně začínají agregáty vytvářet přímo nebo pomocí vytvořených hydrolytických meziproductů, u nichž je opačný povrchový náboj než koloidní částice. Ze shluků malých elektro neutrálních částic se mohou za vhodných podmínek stávat velké agregáty. [18]

Pro kyselé prostředí se převážně používají soli kovů Fe^{3+} a Al^{3+} . Při hydrolýze koagulantu se snižuje hodnota pH. Snížení pH je výhodné, protože napomáhá ke koagulaci přirozeně se vyskytujících kyselé reagujících látek ve vodě. Hodnota pH ovšem nesmí být moc nízká z důvodu přílišného zvýšení koncentrace základní složky koagulantu. Proto se při užívání koagulantů udává mezní hodnota pH vody pro jeho použití. Například mezní hodnota pH pro využívání železitých koagulantů je $\text{pH} \sim 5$, pro hlinité koagulanty je hodnota $\text{pH} \sim 5,8$. Toto kyselé prostředí způsobují uvolněné CO_2 , voda se pak stává relativně korozivní. [10], [4], [18]

Koagulaci můžeme dále rozdělit do dvou fází podle druhu transportních mechanismů, a to na:

- koagulaci perikinetickou
- koagulaci ortokinetickou.

Koagulace perikinetická se týká pouze nejmenších částic, tyto částice vznikají na samotném začátku koagulace, kdy jsou vzniklé první destabilizované částice pomocí koagulačního činidla. Je však nutné, aby se k sobě dvě takto vzniklé částice přiblížily na menší vzdálenost, než je hodnota reakčního poloměru (R_a). Poloměr (R_a) je dvojnásobek nebo trojnásobek poloměru částice. Transportním mechanismem těchto částic je Brownův pohyb. Pokud se částice na sebe navážou do takové míry, že už Brownův pohyb není možný, začíná ortokinetická fáze. Ortokinetickou fázi v závislosti na usazování můžeme rozdělit na další dva druhy – horizontální a vertikální ortokinetickou koagulaci a na ortokinetickou koagulaci dosaženou mícháním. [18]

Ortokinetická vertikální koagulace je přímo závislá na gravitační síle země. Rychlost sedimentace je závislá na velikosti daných částic, jejich tvaru i koncentraci. Větší částice sedimentují rychleji než menší částice a pokud se dostanou do vzdálenosti rovné nebo menší než je R_a , tak se částice k sobě shlukují a vznikají větší vločky. V praxi se pro dosažení lepších výsledků využívá proces míchání, který zrychlí proces tvorby vloček a je dosahováno větší účinnosti. [4], [18]

5 ODPADNÍ VODY ZE SMALTOVNY - ODBĚR VZORKŮ A JEJICH ANALÝZA

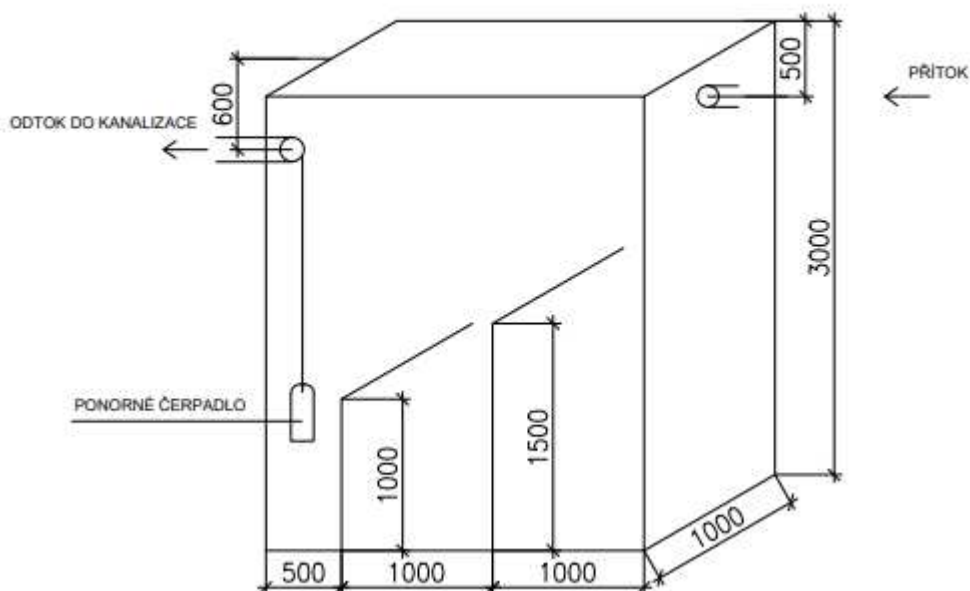
Odpadní vody ze smaltovny jsou specifické svým znečištěním, převážně se u nich jedná o velké množství nerozpuštěných látek, které jsou problematické při vypouštění do jednotné kanalizace, protože nesplňují požadavky na odpadní vodu. Hlavně nesplňují požadavek na $CHSK_{cr}$. Odpadní vody prochází přes několik technologických zařízení, ve kterých jsou z odpadní vody odstraňovány největší nerozpuštěné látky a látky, které mohou dobře sedimentovat. Nerozpuštěné látky, které sedimentují, jsou kaly ze smaltovny a nacházejí se v zařízení zvaném odlučovač. V provozu jsou dva takovéto odlučovače, ale ve své práci se budu zmiňovat především o prvním z nich, do nějž vstupují vody z procesu nanášení smaltu.

5.1 Odlučovač č. 1

Odlučovač č. 1 se nachází v provozovně Vítkovice Envi ve Vítkovicích a je situován v hale smaltovny přímo pod úrovní podlahy, poblíž stříkacích kabin. Jeho hlavním cílem je předčistit odpadní vody. Odpadní voda vzniká z přestříkávání smaltu a čištění stříkacího mechanismu kabin. Jeho hlavním účelem je zachycení a sedimentace pevných částic, které jsou obsaženy v odpadní vodě. [6]

Nejprve jsou oplachové vody shromažďovány v prostoru pod stříkacími kabinami ve dvou záchytných betonových vanách, v těchto vanách by se měly zachytit největší částice v odpadní vodě, jedná se o první stupeň předčištění. Po dostatečně dlouhé době pro usazení nejhrubších látek se odpadní vody vypouští do odlučovače č. 1. [6]

Odlučovač č. 1 je zhotoven z betonu, uvnitř odlučovače se nacházejí 3 komory, které slouží k dalšímu následnému usazování nerozpuštěných látek obsažených v odpadní vodě z nanášení smaltu. Odlučovač má rozměry 2500x1000x3000 mm.



Obrázek 2 Odlučovač č.1 [6]

Z Obrázku 2 je dobře vidět, že jednotlivé komory mají různý objem. Největší objem má první komora, do které ústí přítoky ze stříkacích van. První komora má zásobní objem $1,5 \text{ m}^3$. Druhá komora odlučovače se začne plnit, když je plná první komora. Plní se přelitím přes hranu a její objem je $1,0 \text{ m}^3$. Do poslední komory se voda dostává opět přelitím přes hranu, až když je plný druhý zásobní prostor. Objem poslední komory je $0,5 \text{ m}^3$ odpadní vody. Ve třetí komoře je umístěno kalové čerpadlo, které má za úkol odvádět předčištěnou odpadní vodu z komory přes výtlačné potrubí do kanalizačního řádu, který vede na čistírnu odpadních vod pro veřejnou potřebu do Ústřední čistírny odpadních vod ČEZ ES v dolní oblasti Vítkovic. Pokud čerpadlo čerpá odpadní vodu do kanalizačního potrubí, musí být uzavřen přítok do odlučovače. Celý objekt odlučovače je zakryt ocelovými plechy a je při provozu pochůzný. [6]



Obrázek 3 Pohled do odlučovače I. [3]

V jednotlivých komorách odlučovače dochází k sedimentaci nečistot, které jsou obsaženy v odpadních vodách ze stříkání smaltu a oplachu stříkacích zařízení. Tyto sedimentované látky se ukládají u dna jednotlivých komor ve formě kalu. Tento kal je nutné vybrat, pokud jeho výška přesáhne výšku vrstvy 1 m. Výška kalu se měří pomocí měrné tyče. Aby se kal mohl vybírat, je nutné uzavřít ventil přítoku a odčerpát vodu z třetí komory, kde je umístěno čerpadlo. Následně se kal vybírá pomocí ocelových kbelíků a lopat. Kbelíky s kalem jsou vynášeny z prostoru odlučovače, kal z kbelíků se následně umísťuje do ocelové bedny a tu je možné jeřábem přemístit. O likvidaci kalu se stará specializovaná firma, jež musí mít oprávnění na nakládání s odpady. [6]

Před opětovným spuštěním je třeba udělat vizuální kontrolu odlučovače a jednotlivých komor. Po vizuální kontrole by se měl celý odlučovač naplnit vodou kvůli kontrole vodotěsnosti. Pokud jsou zjištěny vizuální nedostatky v konstrukci nebo vodotěsné narušení konstrukce odlučovače, je nutné naplánovat jeho opravu či případnou renovaci. [6]

5.2 Odebírání odpadních vod

Odpadní vody byly odebrány z technologického zařízení odlučovače. Z odlučovačů byla voda odebírána po delší době provozu smaltéřské linky a ta se musela zapracovat, aby se v odlučovačích nahromadilo dostatečné množství odpadní vody. Odpadní voda také musela být v dostatečné koncentraci, aby nebyly zkreslené výsledky měření. Voda byla odebírána ze tří míst, z přítoku do odlučovače 1, z prostřední usazovací části usazovače 1 a na poslední části usazovače 1, kde se voda čerpá do jednotné kanalizace. Odpadní vody byly odebrány do tří 5 litrových kanystrů. Na těchto vzorcích jsem následně prováděl experimenty.

5.3 Charakteristika mnou odebrané vody

Vzorky odebrané odpadní vody z odlučovače byly odebrány do 3 kanystrů. Do kanystru č. 3 byla odebrána voda, která přitéká do odlučovače ze zásobníku stříkacích kabin a je nejvíce znečištěná. Voda z prostřední komory byla odebrána do kanystru č. 2, jedná se o vodu, která přitéká z první komory (přepadem přes hranu), voda je zbavena největších nerozpuštěných částic. Z poslední komory byl odebrán vzorek vody č. 1, v tomto vzorku je nejmenší množství nerozpuštěných suspendovaných látek. Odpadní voda se do této komory dostává z prostřední komory (přepadem přes hranu), tato komora je opatřena čerpadlem a voda z komory je předčištěná odpadní voda, odčerpávaná do kanalizace.

U odebraných vod jsem jako první určoval hodnotu pH a vodivosti konduktometrem Cond 340i. Všechny tyto úkony jsem prováděl již v laboratoři s několik dnů odebranou odpadní vodou. Odpadní vodu v kanystrech jsem před všemi měřeními důkladně promíchal, aby u dna nezůstával kal a aby v celém objemu byla jednotná koncentrace látek.

Číslo vzorku	pH	Vodivost [mS/m]
3.	8,93	242
2.	8,56	239
1.	8,50	350

Tabulka 3 Hodnoty pH, vodivosti

Z výsledků měření jsem udělal přehlednou Tabulku 3, ze které můžeme vyčíst hodnotu pH a vodivost. Z tabulky lze vyhodnotit, že hodnota pH se u vzorků příliš neliší. Nejvyšší hodnota pH je na vstupu do odlučovače a pak postupně klesá. Nejnižší hodnota pH je na výstupu z odlučovače. U hodnot vodivosti je situace jiná, nejvyšší hodnota vodivosti je na výstupu z odlučovače. Na přítoku a v prostřední komoře je hodnota vodivosti skoro totožná.

5.3.1 Chemická spotřeba kyslíku

Dále jsem u odpadní vody měřil CHSK_{Mn} (chemická spotřeba kyslíku určovaná manganistanem draselným). Toto stanovení jsem prováděl u všech 3 typů odpadní vody.

Tato metoda je založena na oxidaci organických látek manganistanem draselným v kyselém prostředí kyseliny sírové při desetiminutovém varu. Oxidace musí probíhat za přebytku manganistanu draselného. Úbytek manganistanu draselného se zjistí odměrným manganometrickým stanovením tak, že po ukončení oxidace se do reakčního roztoku přidá známé množství standardního odměrného roztoku kyseliny šťavelové, která se manganistanem draselným zpětně titruje. [21]

Použité chemikálie:

- ředící voda
- kyselina sírová (ředěná 1:15)
- kyselina sírová (ředěná 1:2)
- kyselina šťavelová, standardní zásobní roztok
- kyselina šťavelová, standardní roztok
- manganistan draselný, zásobní odměrný roztok, $c_{\text{KMnO}_4} = 0,02 \text{ mol/l}$
- manganistan draselný, pracovní odměrný roztok, $c_{\text{KMnO}_4} = 0,002 \text{ mol/l}$.

Postup práce:

Do čtyř varných baněk jsem vložil několik varných kamínků. Do první 100 ml odměrné baňky jsem odpipetoval 100 ml destilované vody. Do další odměrné baňky jsem odpipetoval 50 ml odpadní vody z kanystru č. 1 a 50 ml destilované vody tak, aby objem byl 100 ml. Do třetí odměrné baňky jsem opět odpipetoval 50 ml z kanystru č. 2 a opět doplnil do 100 ml. Do poslední odměrné baňky jsem odpipetoval 10 ml odpadní vody z kanystru č. 3 a doplnil do 100 ml objemu baňky. Všechny roztoky z odměrných baněk jsem přelil do varných baněk, ve kterých byly varné kamínky. Dále jsem do všech přidal 5 ml zředěné kyseliny sírové (ředěné 1:2) a 20 ml odměrného roztoku manganistanu draselného o koncentraci $c_{KMnO_4} = 0,002 \text{ mol/l}$. Baňky jsem důkladně promíchal, na jejich hrdlo jsem položil hodinové sklo a baňky jsem umístil na vařič. Roztok jsem nechal přivést k varu a následně vařil po dobu 10 minut. Po 10 minutách varu jsem k roztokům ihned přidal 20 ml standardního roztoku kyseliny šťavelové o koncentraci $c_{C_2O_4H_2} = 0,005 \text{ mol/l}$. Odbarvený horký roztok jsem ihned titroval odměrným roztokem manganistanu draselného o koncentraci $c_{KMnO_4} = 0,002 \text{ mol/l}$ do slabě růžového zabarvení. [21]

Výpočet naměřených dat:

$$CHSK_{Mn} = \frac{(V_{KMnO_4} - V_{Sl}) \cdot f_t \cdot c_{KMnO_4} \cdot A_o \cdot 1000}{V_{Vz}}$$

$CHSK_{Mn}$ chemická spotřeba kyslíku vzorku vody v mg/l

V_{KMnO_4} objem odměrného roztoku $KMnO_4$ spotřebovaného při titraci vzorku v ml

V_{Sl} objem odměrného roztoku $KMnO_4$ spotřebovaného při titraci slepého stanovení v ml

V_{Vz} objem odpipetovaného vzorku ke stanovení v ml

f_t titrační přepočítávací faktor = 5/2

c_{KMnO_4} látková koncentrace odměrného roztoku $c_{KMnO_4} = 0,002 \text{ mol/l}$

A_o atomová hmotnost kyslíku $A_o = 16 \text{ g/mol}$.

Výpočet CHSK_{Mn} vzorků

Vzorek č. 1

$$V_{Sl} = 0,18 \text{ ml}$$

$$V_{Vzorku} = 4,12 \text{ ml}$$

$$CHSK_{Mn} = \frac{(4,12 \text{ ml} - 0,18 \text{ ml}) \cdot \frac{5}{2} \cdot 0,002 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 16g \cdot 1000}{50 \text{ ml}}$$

$$CHSK_{Mn} = 6,304 \text{ mg/l O}_2$$

Vzorek č. 2

$$V_{Sl} = 0,18 \text{ ml}$$

$$V_{Vzorku} = 4,15 \text{ ml}$$

$$CHSK_{Mn} = \frac{(4,15 \text{ ml} - 0,18 \text{ ml}) \cdot \frac{5}{2} \cdot 0,002 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 16g \cdot 1000}{50 \text{ ml}}$$

$$CHSK_{Mn} = 6,352 \text{ mg / l O}_2$$

Vzorek č.3

$$V_{Sl} = 0,18 \text{ ml}$$

$$V_{Vzorku} = 5,94 \text{ ml}$$

$$CHSK_{Mn} = \frac{(5,94 \text{ ml} - 0,18 \text{ ml}) \cdot \frac{5}{2} \cdot 0,002 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 16g \cdot 1000}{10 \text{ ml}}$$

$$CHSK_{Mn} = 46.08 \text{ mg/ l O}_2$$

Výsledky měření CHSK_{Mn} jsem shrnul do Tabulky 4, která je níže.

Vzorek	V_{Vz} [ml]	V_{KMnO_4} [ml]	CHSK_{Mn} [mg/l O_2]
Slepé stanovení	100	0,18	-
1	50	4,12	6,304
2	50	4,15	6,352
3	10	5,94	46,08

Tabulka 4 Výsledky CHSK_{MN} vzorků

V Tabulce 4 vidíme, že na přítoku do odlučovače je CHSK_{Mn} 46,08 [mg/l O_2], tato hodnota je nejvyšší, hodnoty CHSK_{Mn} v následujících komorách už jsou daleko nižší než na přítoku. V prostřední komoře je CHSK_{Mn} 6,352 [mg/l O_2]. Na výstupu je hodnota CHSK_{Mn} 6,304 [mg/l O_2]. Z těchto hodnot je patrné, že odlučovač pracuje správně. Účinnost odlučovače však není dostatečná, hodnoty CHSK_{Mn} musí být na výstupu nižší, než jsou. Z tohoto důvodu budu testovat koagulační činidla na odpadní vodu. [21]

5.3.2 Stanovení zákalu

U odpadní vody ze smaltovny jsem také určoval zákal. Zákal jsem určoval u všech tří vzorků odpadní vody. Kanystry s odpadní vodou jsem důkladně promíchal. Následně jsem z jednotlivých kanystrů odebral 100 ml odpadní vody pomocí odměrného válce. Jednotlivé vzorky jsem přelil do kádinek. Nejprve jsem do skleněné 5 cm kyvety dal destilovanou vodu. Kyvetu jsem z vnějších stran vyleštil, na spektrofotometru (Hach Lange DR 2800) zvolil program, ve kterém budu měřit. Zvolil příslušný program a dal nulovat. Po změření nulové hodnoty jsem vyjmul kyvetu ze spektrofotometru, vylil destilovanou vodu a následně jsem z kádinky přelil vzorek odpadní vody do 5 cm kyvety a vypláchl ji vzorkem, poté jsem kyvetu naplnil vzorkem. Kyvetu jsem důkladně vyleštil z vnějších stran, vložil do spektrofotometru a dal měřit. Na spektrofotometru se zobrazila hodnota zákalu v ZF. Následně jsem vyjmul kyvetu ze spektrofotometru a vylil její obsah do odpadní kádinky. Tento postup jsem opakoval u všech vzorků. Získal jsem hodnoty zákalu u všech 3 vzorků. [22]

Vzorek	Hodnota zákalu [ZF]
Vzorek č. 3 (přítok)	Nad měřitelný rozsah
Vzorek č. 2 (prostřední komora)	196,95
Vzorek č. 1 (odtok)	231,79

Tabulka 5 Hodnoty zákalu vstupních vzorků

U všech vzorků surové odpadní vody byly naměřeny hodnoty zákalu větší, než je měřitelný rozsah zákalu ZF jak je vidět v Tabulce 5. Maximální citlivost spektrofotometru je 40 ZF.

5.3.3 Stanovení množství nerozpuštěných látek

Stanovení nerozpuštěných látek jsem potřeboval vědět z důvodu účinnosti koagulačních činidel. Také do kanalizace může z odlučovače odcházet maximálně 200 mg/l nerozpuštěných látek.

Jako první jsem důkladně promíchal vzorky vody v kanystrech. Z kanystrů jsem přelil vzorky vody do kádinky, následně jsem vzorky z kádinky přelil do odměrného válce a odměřil u vzorku č. 1 a č. 2 50 ml. U vzorku č. 3 jsem si odměřil pouze 10 ml. Následně jsem si připravil skleněné misky, do nich jsem vložil pinzetou filtrační papír (Simptom) o velikosti pórů 40 mikrometrů. Mističku s filtrem jsem zvažil na analytické váze (Ohaus) s přesností na 0,1 mg. Když byl filtr s mističkou zvážen, vyjmul jsem filtr z mističky a upevnil jsem jej na filtrační zařízení. Po upnutí filtru jsem zapnul vývěvu a nalil vzorek na filtr a nechal jej filtrovat, ještě jsem vypláchl stříčkou odměrný válec, aby v něm nezůstaly žádné nerozpuštěné látky. Jakmile byl vzorek zfiltrován, sundal jsem jej pomocí pinzety z filtračního zařízení a vložil jej do misky. Misku se vzorkem jsem umístil do sušárny. Vzorek jsem nechal sušit při 105 °C asi 2 hodiny. Po vysušení vzorku jsem jej vyndal a nechal ochladit, následně jsem opět vzorek zvažil na analytické váze. Tento postup jsem použil u všech 3 vzorků. [19]

Výpočet jsem provedl pomocí vzorce:

$$\rho_{NL} = (m_2 - m_1)/V$$

ρ_{NL} – Nerozpuštěné látky v g/l

m_2 – Hmotnost misky a filtru s odparkem po vysušení v g

m_1 – Hmotnost misky a filtru v g

V – Objem vzorku v l

Vzorek	Množství vzorku [l]	Nerozpuštěné látky v [g/l]
č.1 (výstupní)	0,05	0,492
č.2	0,05	0,284
č.3 (vstupní)	0,01	27,36

Tabulka 6 Množství nerozpuštěných látek ve vzorcích

Z Tabulky 6 množství nerozpuštěných látek můžeme vidět, že nejvíce nerozpuštěných látek je na vstupu do odlučovače, množství nerozpuštěných látek zde je 27,36 g/l. V prostřední komoře je množství nerozpuštěných látek pouze 0,284 g/l. Na výstupu je množství nerozpuštěných látek 0,492 g/l. Bohužel na výstupu nesplňuje množství nerozpuštěných látek požadovaný limit.

6 EXPERIMENTY INTENZIFIKACE SEPARACE NEROZPUŠTĚNÝCH LÁTEK VE VZORCÍCH ODPADNÍCH VOD ZE SMALTOVNY, VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

V této kapitole se budu zabývat vhodností koagulantů a jejich schopností na sebe vázat nerozpuštěné i rozpuštěné částice, které se nacházejí v odpadních vodách ze smaltovny. Většina mnou používaných koagulantů je dostupná a používá se v praxi, některé z nich se běžně používají pro úpravu pitné vody. Netušil jsem, jaké typy koagulačních činidel mohou fungovat a které fungovat nebudou. Následně podle výsledků a schopností vytvářet vločky jsem si vybral 3 typy koagulantů, které měly dobrou až vynikající účinnost. U těchto typů jsem sledoval ideální účinnou dávku s ohledem na ekonomické hledisko. U vybraných koagulantů, které fungovaly, jsem provedl stanovení $CHSK_{Mn}$, abych viděl jejich účinnost, změřil pH, vodivost, provedl měření zákalu na spektrofotometru a změřil množství nerozpuštěných látek.

6.1 Zkouška účinnosti koagulantů

Nejprve jsem zkoušel, který z koagulantů bude účinný. Vybral jsem si 4 různé koagulanty, některé z nich byly v různé koncentraci, jiné byly na stejné základní složce, pouze se lišily obsahem účinné látky. Postupně jsem je zkoušel do všech 3 vzorků odpadní vody ze smaltovny. Nejdříve jsem v kanystrech dobře rozmíchal odpadní vodu. Pomocí odměrného válce jsem odměřil 100 ml vzorku, vodu z odměrného válce jsem přelil do kádinky. Takto jsem postupoval u všech 3 typů vzorků. Následně jsem odebral příslušný koagulant, nadávkoval jsem jej do zkoumané vody, do každé kádinky 10 kapek. Po nadávkování jsem do kádinek vhodil magnety a postavil kádinky na magnetická míchadla (Lavot). Zapnul jsem magnetická míchadla na nejvyšší rychlost a nechal 2 minuty intenzivně míchat. Po uplynutí doby jsem snížil rychlost míchání na pomalou a nechal 5 minut míchat. Po uplynutí této doby míchání jsem magnetická míchadla vypnul a nechal odpadní vodu s koagulačním činidlem odstát 5 minut. Následně jsem se podíval na výsledek koagulačního činidla a míchání. Tento proces dávkování koagulantu a míchání jsem opakoval 3x, až jsem se dostal na množství 40 kapek koagulantu ve vzorku. Poté jsem provedl měření pH pomocí pH metru v daných suspenzích po nadávkování koagulantu. Všechny výsledky pokusu jsou

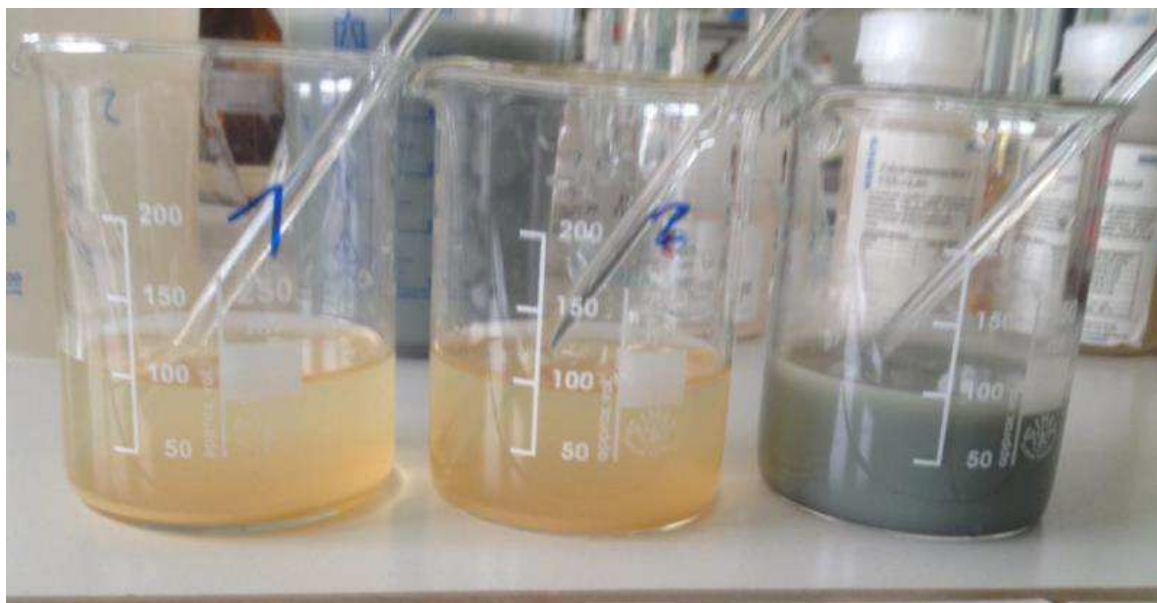
vyfoceny a je na nich dobře vidět účinnost či případná neúčinnost jednotlivých koagulantů a množství vytvořených vloček.

6.1.1 Síran železitý

Jako první koagulační činidlo jsem si vybral Síran železitý o dvou různých koncentracích. První z nich má koncentraci 5 % a jedná se o vodný roztok. Druhý z nich je Síran železitý pod obchodním názvem Preflock, jedná se o práškové koagulační činidlo a je nutné jej rozmíchat s vodou, pracoval jsem s roztokem o koncentraci 0,4 .

Síran železitý 5% roztok $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

Do vzorku odpadní vody jsem nadávkoval koagulační činidlo Síran železitý, zamíchal a nechal působit. Tento postup jsem opakoval až do maximální dávky. Síran železitý byl minimálně účinný na všechny 3 typy vzorků odpadní vody, u vzorku č. 3 nedošlo ani k utvoření viditelných vloček, jak je možné spatřit na obrázku níže. U vzorků č. 2 a č. 1 lze vidět malé množství vytvořených a usazených vloček. Toto koagulační činidlo nebylo účinné na odpadní vodu ze smaltovny. Jak je vidět na Obrázku 4.



Obrázek 4 Účinnost síranu železitého [3]

Síran železitý Preflok 0,4 %

Do vzorků odpadní vody jsem nadávkoval koagulační činidlo Preflok, zamíchal a nechal účinkovat. Postup jsem opakoval až do maximální dávky. Preflok nebyl účinný na odpadní vodu ze smaltovny. Vytvořilo se minimální množství vloček. Vločky, které se vytvořily, se zdržovaly u dna. Preflok nepomohl ani se zákalem, spíše bych řekl, že zákal je ještě větší u vzorků č. 1 a č. 2. Vzorek č. 3 je bez zjevné viditelné změny. Preflok jsem dále nevyužíval, a to pro jeho neúčinnost na odpadní vodu ze smaltovny. Toto je vidět na Obrázku 5.



Obrázek 5 Účinnost Preflok [3]

6.1.2 Chlorid železitý

Dalším koagulačním činidlem, které jsem použil, byl Chlorid železitý ve dvou koncentracích. Prvním z nich byl chlorid železitý ve 25% roztoku. A dalším byl chlorid železitý v 0,5 %.

Chlorid železitý FeCl_3 25% roztok

Do vzorků odpadní vody jsem přidal koagulační činidlo Chlorid železitý v 25% roztoku, zamíchal jej a nechal působit. Postup jsem opakoval až do maximální dávky. U tohoto koagulačního činidla byla vidět účinnost už od malého množství, a to 10 kapek. Začaly se utvářet drobné vločky. Vloček přibývalo se stoupajícím množstvím chloridu železitého. Při použití tohoto koagulačního činidla se snižuje pH. Jak je možné vidět na obrázku, účinnost chloridu železitého je vysoká, vytvořilo se velké množství vloček, které i dobře sedimentovaly. Z obrázku je značně viditelné, že u odpadní vody se zmenšil zákal, nejlépe je tato změna vidět u vzorku č. 3. U tohoto vzorku je zřetelné zmenšení zákalu. U vzorků č. 1 a č. 2 jsou dobře rozeznatelné jednotlivé vločky. Chlorid železitý měl velkou účinnost na odpadní vodu ze smaltovny, jak je možné vidět na Obrázku č.6. Proto jsem si jej vybral pro další pokusy na odpadní vodě.



Obrázek 6 Účinnosti Chloridu železitého [3]

Chlorid železitý $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,5 %

Do vzorků odpadní vody jsem přidal koagulační činidlo Chlorid železitý v 0,5 % roztoku. Nadávkoval jsem ho do vzorků, zamíchal a nechal jej účinkovat. Postup jsem opakoval až do maximální dávky. Bohužel Chlorid železitý v této koncentraci nebyl skoro účinný ani v maximální dávce, vytvořilo se minimální množství vloček. Malé množství vloček je vidět pouze u vzorku č. 3. U zbylých dvou nejsou vločky skoro viditelné. Není viditelné ani zmenšení zákalu u žádného ze tří zkoumaných vzorků. Chlorid železitý v této koncentraci neměl dostatečné koagulační účinky na odpadní vodu ze smaltovny, je to vidět na Obrázku 7.



Obrázek 7 Účinnosti chloridu železitého [3]

6.1.3 Síran železnatý $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{ag } 20 \%$

Do vzorku odpadní vody jsem přidal koagulační činidlo Síran železnatý, promíchal, nechal reagovat. Tento proces jsem opakoval až po dobu dosažení maximální dávky. Jak je možno vidět z obrázku, Síran železnatý dobře tvoří vločky, které jsou dobře vidět na vzorku č. 1 a na vzorku č. 2. Vločky se tvořily již od minimálního množství Síranu železnatého přidaného do odpadní vody, a to u všech 3 vzorků. Jak je z Obrázku 8 patrné, podstatně se zmenšil zákal u vzorku č. 3. U zbylých vzorků je viditelná změna barvy odpadní vody. Díky vysoké účinnosti Síranu železnatého jsem si jej vybral i pro další pokusy s odpadní vodou ze smaltovny.



Obrázek 8 Účinnost síranu železnatého [3]

6.1.4 Síran hlinitý $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ 5 %

Do vzorků odpadní vody jsem přidal koagulační činidlo Síran hlinitý v 5 % roztoku. Zamíchal jej a čekal, zda bude reagovat a poté zvyšoval jeho dávku ve vzorcích, až do maximální dávky. Bohužel, jak je vidět z obrázku níže, síran železitý nemá dostatečné koagulační a schopnosti na odpadní vodu ze smaltovny. Při velkém množství síranu železitého se vytvořilo pouze malé množství vloček, tyto vločky byly u dna. Jak je možné vidět u vzorku č. 3, zákal se sice zmenšil, ale i přesto je velice velký. Síran železitý jsem si pro další pokusy nevybral kvůli jeho malé účinnosti při tvorbě vloček. Toto je vidět na Obrázku 9.



Obrázek 9 Účinnost síranu železitého [3]

6.1.5 Polyaluminiumchlorid

Dalšími koagulačními činidly byly Polyaluminiumchloridy, která se od sebe liší množstvím účinné složky hliníku. Tato koagulační činidla se používají i při úpravě pitné vody nebo pro úpravu průmyslových vod.

Polyaluminiumchlorid Kemira PAX – HP 800wP

Do vzorků odpadní vody jsem nadávkoval koagulační činidlo Polyaluminiumchlorid Kemira PAX – HP 800wP, zamíchal jej a nechal působit. Postup jsem opakoval až do maximální dávky. Byl velice účinný na odpadní vodu ze smaltovny. Již od minimální dávky se začaly vytvářet malé vločky u všech vzorků a toto množství se s přibývajícím dávkou zvětšovalo až na množství, které můžeme vidět na Obrázku 10. Množství vloček dosahuje téměř až po okraj vody v kádince. U vzorku č. 3 je možno vidět i zmenšení zákalu. Vločky u vzorku č. 3 se chovají velice kompaktně a drží pevně u sebe. Tento koagulant byl velice účinný na odpadní vodu ze smaltovny.



Obrázek 10 Účinnost Kemira PAX - HP 800wP [3]

Polyaluminiumchlorid PAX – XL60

Do vzorků odpadní vody jsem nadávkoval koagulační činidlo Polyaluminiumchlorid PAX – XL60, zamíchal a nechal působit. Tento postup jsem opakoval až do maximální dávky. V tomto koagulačním činidle je množství účinné látky hliníku 7,5 %. Již od malého množství činidla byl viditelný velký počet vloček, toto množství vloček již u minimální dávky dosahovalo téměř až po okraj hladiny. Vločky u vzorku č. 3 se chovaly velice kompaktně a držely pevně u sebe. Jak je možno vidět z Obrázku 11, u vzorku č. 3, zmizel téměř zákal. U zbylých vzorků zákal není, pouze celý objem kádinky je vyplněn vločkami. Toto koagulační činidlo bylo velice účinné na odpadní vodu ze smaltovny.



Obrázek 11 Účinnost Polyaluminium chloridu PAX - XL60 [3]

Polyaluminiumchlorid PAX XL 19

Do vzorku odpadní vody jsem nadávkoval koagulační činidlo Polyaluminiumchlorid PAX XL 19, zamíchal jej a nechal působit. Tento postup jsem opakoval až do maximální dávky činidla. V tomto koagulačním činidle je množství účinné látky hliníku 12,5 %. Jak je možno vidět na obrázku níže, je velice účinný i při minimální dávce činidla. Již při malé dávce je vytvořeno velké množství vloček. Počet vloček s přibývajícím množstvím činidla roste. Jak je z obrázku patrné, množství vloček dosahuje téměř až po okraj hladiny. Vločky u vzorku č. 3 se chovaly kompaktně. Z Obrázku 12 není příliš viditelné zmenšení zákalu u vzorku č. 3. Vzorek č. 1 a č. 2 je bez zákalu, v celém objemu jsou vločky. Toto koagulační činidlo bylo velice účinné na odpadní vodu vytvořilo se velké množství vloček.



Obrázek 12 Účinnost Polyaluminiumchloridu PAX XL 19 [3]

Polyaluminiumchlorid PAX 18

Do vzorku odpadní vody jsem nadávkoval koagulační činidlo Polyaluminiumchlorid PAX 18, zamíchal jej a nechal působit. Tento postup jsem opakoval až do maximální dávky. V tomto koagulačním činidle je množství účinné látky hliníku 9 %. Činidlo bylo účinné už od malého množství ve vzorku odpadní vody. Vytvořilo se velké množství vloček, které rychle sedimentovaly. Jak je viditelné na Obrázku 13, u vzorku č. 3 došlo k velké sedimentaci vloček po krátkém časovém úseku. Vločky byly velice kompaktní a držely dobře u sebe. Došlo i k zmenšení zákalu, což je patrné u vzorku č. 3. U vzorku č. 1 a č. 2 si můžeme povšimnout velkého množství pomaleji sedimentujících vloček a u dolního okraje vznikajících usazených vloček. Toto koagulační a činidlo bylo velice účinné na odpadní vodu ze smaltovny. Vybral jsem si jej i pro další pokusy, a to díky výborné tvorbě vloček, rychlosti jejich usazování a viditelnému zmenšení zákalu.



Obrázek 13 Účinnost Polyaluminium chloridu PAX 18 [3]

6.2 Změny hodnot pH a vodivosti v závislosti na koagulačním a činidlu

V tabulkách níže jsou uvedeny změny hodnot pH v závislosti na jednotlivých koagulačních činidlech po nadávkování 40 kapek do vzorku. V řádku označeném vzorek č. 1, 2, 3 jsou uvedeny hodnoty pH vzorku bez použitého koagulačního činidla. Ve zbylých řádcích jsou uvedeny hodnoty pH po nadávkování maximálního množství koagulačního činidla. Hodnoty pH byly měřeny pomocí pH metru (potenciometricky).

6.2.1 Tabulka změny hodnoty pH vzorku č. 1 po nadávkování koagulačního a činidla

	pH	Účinnost
Vzorek č. 1	8,50	
Síran železitý 5 %	7,957	NE
Síran železitý Preflok 0,4 %	8,882	NE
Chlorid železitý 25 %	2,470	ANO
Chlorid železitý 0,5 %	8,929	NE
Síran hlinitý 5 %	7,824	NE
Síran železnatý 20 %	4,257	ANO
Polyaluminiumchlorid Kemira PAX-HP 800wP	5,254	ANO
Polyaluminiumchlorid PAX – XL 60	3,686	ANO
Polyaluminiumchlorid PAX – XL 60	5,304	ANO
Polyaluminiumchlorid PAX 18	3,524	ANO

Tabulka 7 Změna hodnoty pH a vodivosti v závislosti na koagulačním a činidlu a jeho účinnost

Z Tabulky 7 je jasné vidět, které koagulanty na vzorek odpadní vody č. 1 (na odtoku) fungovaly a které ne. Dále je z tabulky dobře vidět, jak se u jednotlivých koagulantů mění hodnota pH. Je jasné znatelné, že činidla fungovala pouze tehdy, pokud se hodnota pH snížila výrazně pod počáteční hodnotu vzorku. Jestliže hodnota pH byla v blízkosti pH vzorku, tak koagulační činidlo nemělo dostatečné schopnosti na tvorbu vloček. V tabulce

jsem graficky rozlišil koagulační činidla, s nimiž budu provádět další pokusy na odpadní vodě ze smaltovny.

6.2.2 Tabulka změny hodnoty pH vzorku č. 2 po nadávkování koagulačního činidla

	pH	Účinnost
Vzorek č.2	8,56	
Síran železitý 5%	8,026	NE
Síran železitý Preflok 0,4%	8,862	NE
Chlorid železitý 25 %	2,518	ANO
Chlorid železitý 0,5 %	8,912	NE
Síran hlinitý 5%	7,852	NE
Síran železnatý 20%	4,149	ANO
Polyaluminiumchlorid Kemira PAX-HP 800wP	5,320	ANO
Polyaluminiumchlorid PAX – XL 60	3,613	ANO
Polyaluminiumchlorid PAX – XL 19	5,519	ANO
Polyaluminiumchlorid PAX 18	3,421	ANO

Tabulka 8 Změna hodnoty pH a vodivosti v závislosti na koagulačním a činidlu a jeho účinnost

Z Tabulky 8 lze jasně vidět, která koagulační činidla fungovala na vzorek č. 2 odpadní vody ze smaltovny. Také z tabulky můžeme vyčíst účinnost koagulačních činidel v závislosti na hodnotě pH. Jestliže je pH podobné pH vzorku, koagulační činidlo nefungovalo. Pokud však byla hodnota pH nižší výrazně, koagulační činidlo fungovalo dobře na odpadní vodu. V tabulce jsou barevně vyznačena koagulační činidla, s nimiž budu dále pracovat.

6.2.3 Tabulka změny hodnoty pH vzorku č. 3 po nadávkování koagulačního a činidla

	pH	Účinnost
Vzorek č. 3	8,93	
Síran železitý 5 %	8,973	NE
Síran železitý Preflok 0,4 %	9,273	NE
Chlorid železitý 25 %	5,960	ANO
Chlorid železitý 0,5%	9,305	NE
Síran hlinitý 5 %	8,833	NE
Síran železnatý 20 %	6,584	ANO
Kemira PAX-HP 800wP	6,570	ANO
Polyaluminiumchlorid PAX – XL 60	3,884	ANO
Polyaluminiumchlorid PAX – XL 19	7,073	ANO
Polyaluminiumchlorid PAX 18	3,720	ANO

Tabulka 9 Změna hodnoty pH a vodivosti v závislosti na koagulačním činidlu a jeho účinnost

Z Tabulky 9 můžeme vyčíst, které koagulační činidlo funguje a nefunguje na vzorek odpadní vody č. 3 (na přítoku). Také z tabulky můžeme vyčíst závislost účinnosti koagulačního činidla na hodnotě pH. Jestliže se pH vyskytovalo v blízkém okolí pH vzorku, koagulační činidla nebyla účinná. Pokud se hodnota pH lišila od pH vzorku výrazně, koagulační činidlo již fungovalo. V tabulce jsou graficky znázorněna koagulační činidla, se kterými budu dále pracovat.

6.3 Stanovení optimální dávky (experimentálně)

Jakmile jsem zjistil účinnost jednotlivých koagulačních činidel, vybral jsem si z nich 3, na nichž budu provádět další výzkum. V této kapitole se budu zabývat určováním ideální dávky jednotlivých koagulačních činidel na jednotlivé vzorky. Stanovení optimální dávky budu provádět experimentálně, pomocí dávek jednotlivých koagulačních činidel na jednotlivé vzorky odpadní vody. A budu pozorovat množství vloček vytvořených k dávce koagulačního činidla. Budu brát v potaz i ekonomické hledisko výběru ideální dávky.

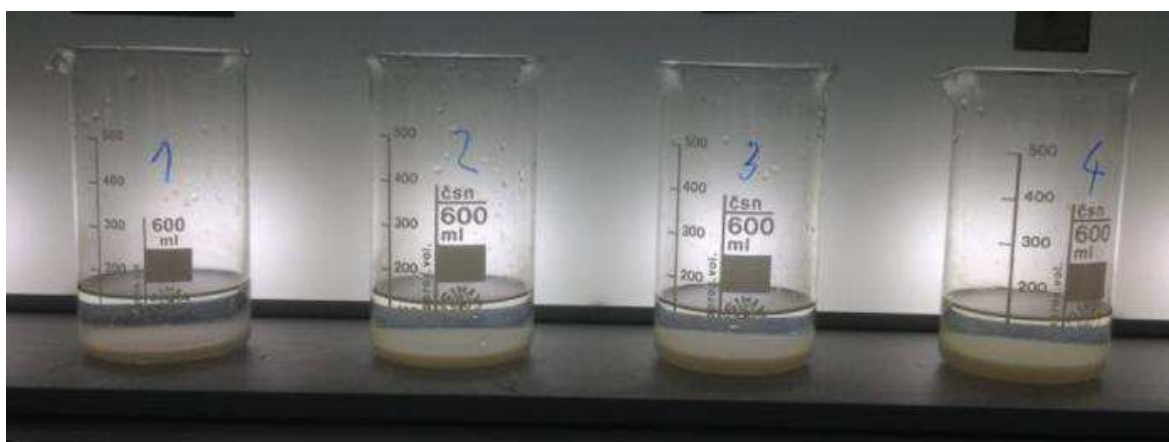
Nejprve jsem si vzal čtyři kádinky, do všech čtyř kádinek jsem pomocí odměrného válce odměřil 150 ml vzorku. Jednotlivé dávky koagulačního činidla jsem dávkoval ve stejných násobcích na vzorek. Vždy jsem bral pouze jeden vzorek a na něj dávkoval 4 různá množství koagulačního činidla. Vzorky v kádinkách s jednotlivými nadávkovanými množstvími koagulačního činidla jsem umístil pod automatické míchadlo (Lavibond). Na automatickém míchadle jsem nastavil rychlost míchání na 200 ot/min a nechal vzorky míchat po dobu 2 minut. Po uplynutí dvou minut jsem rychlost snížil na 40 ot/min a nechal 5 minut míchat. Po uplynutí 5 minut jsem z kádinek vyjmul míchací lopatky a nechal jednotlivé vzorky s vločkami sedimentovat. Po 5 minutách jsem provedl vizuální zhodnocení jednotlivých dávek koagulačního činidla. Ze všech dávek jsem pořídil fotografie pro lepší vizualizaci.

6.3.1 Ideální dávka Aluminiumchloridu Pax 18 na vzorek č. 1

U koagulačního činidla Aluminiumchloridu Pax 18 jsem z technického listu již věděl, jaká je maximální dávka koagulačního činidla pro úpravu pitné vody, která se dávkovala do 1 l. Pro použití na odpadních vodách jsem toto množství zvýšil, protože v odpadní vodě ze smaltovny se nachází velké množství nerozpuštěných látek. Dávky jsem přepočítal na objem 150 ml. Jednotlivé dávky koagulačního činidla jsem dávkoval pomocí automatické mikropipety do kádinek s odpadní vodou o objemu 150 ml. Dále jsem postupoval podle postupu v kapitole: Stanovení optimální dávky (experimentálně). Přikládám zde Tabulku 10, kde jsou uvedeny jednotlivé dávky koagulačního činidla Aluminiumchloridu Pax 18, která je totožná pro všechny vzorky s tímto koagulačním a flokulačním činidlem.

Kádinka	Dávka [ml]
1	0,045
2	0,075
3	0,105
4	0,135

Tabulka 10 Tabulka dávek koagulačního činidla Aluminiumchlorid PAX 18 do vzorku vody přepočítané na 150 ml

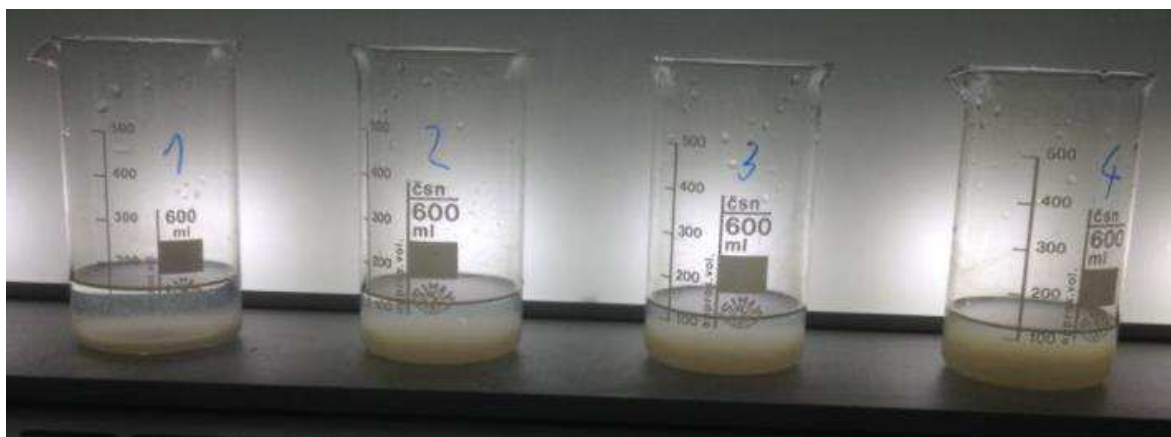


Obrázek 14 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Aluminiumchloridu PAX 18 na vzorek č.1 [3]

Z Obrázku 14 je patrné, že v kádince č. 1 není mnoho vloček, i když je zde viditelný rozdíl mezi kádinkou č. 1 a č. 4. Zákal se příliš nemění ani se vzrůstajícím množstvím koagulačního činidla. Z ekonomických důvodů a pro ne příliš znatelný rozdíl jsem si pro vzorek vody č. 1 vybral dávku koagulačního činidla 0,045 ml, které se nachází v kádince č. 1. S touto pro mě optimální dávkou jsem dále pracovat při dalších měřeních.

6.3.2 Ideální dávka Aluminiumchloridu Pax 18 na vzorek č.2

U koagulačního činidla Aluminiumchloridu Pax 18 jsem z technického listu již věděl maximální množství tohoto činidla pro pitnou vodu, která byla stanovena na 1 l. Tuto hodnotu jsem navýšil kvůli většímu množství nerozpuštěných látek a přepočítal na objem 150 ml, se kterým jsem pracoval. Mikropipetou jsem nadávkoval jednotlivé dávky do vzorků odpadní vody. Dále jsem postupoval podle předchozího postupu v kapitole: Výpočet optimální dávky. Velikost dávek je uvedena v Tabulce 10.

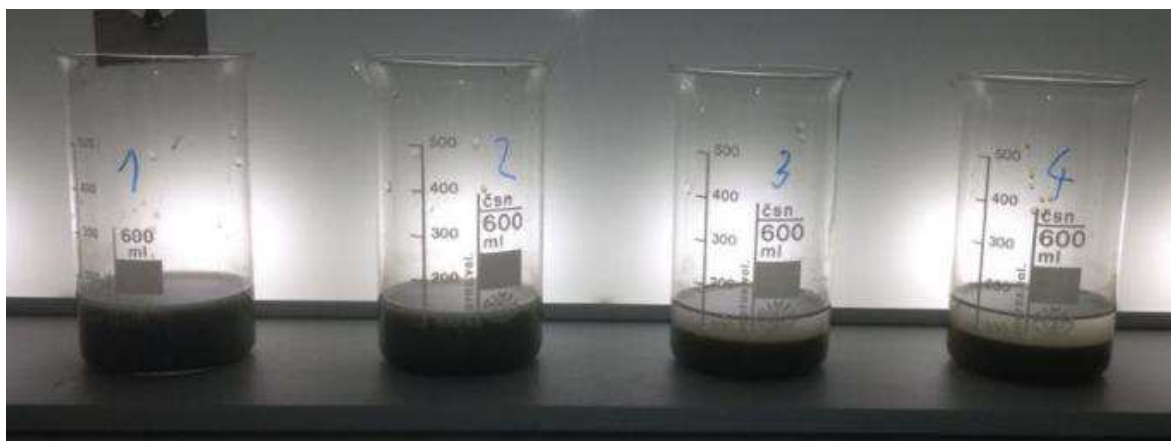


Obrázek 15 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Aluminiumchloridu PAX 18 na vzorek č.2 [18]

Z Obrázku 15 je dobře patrné přibývající množství vloček s rostoucí dávkou koagulačního činidla. Bohužel také s přibývající dávkou se zvyšuje zákal v jednotlivých kádinkách, největší zákal je v kádince č. 4 s maximální dávkou. Čím více je vloček v kádinkách, tím hůře sedimentují. Z tohoto důvodu jsem jako optimální dávku zvolil množství 0,075 ml koagulačního a flokulačního činidla. Toto množství se nachází v kádince č. 2. Zvolil jsem je také s přihlédnutím na ekonomické hledisko. S touto mnou zvolenou optimální dávkou budu dále pokračovat v dalších měřeních a pokusech.

6.3.3 Ideální dávka Aluminiumchloridu Pax 18 na vzorek č.3

U koagulačního činidla Aluminiumchloridu Pax 18 jsem věděl z technického listu, jaké je přípustné množství tohoto koagulačního činidla pro úpravu pitné vody, dávkované na 1l. Pro odpadní vodu jsem toto množství ještě zvýšil kvůli většímu množství nerozpuštěných látek. Nadávkoval jsem jednotlivá množství koagulačního činidla pomocí automatické mikropipety. A dále pokračoval podle postupu výše. Jednotlivé dávky jsou již přepočítány na 150 ml. Hodnoty jednotlivých dávek jsou uvedeny v Tabulce 10.



Obrázek 16 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Aluminiumchloridu PAX 18 na vzorek č.3 [3]

Z Obrázku 16 je viditelné, že vhodná dávka koagulačního činidla bude v kádinkách č. 3 nebo č. 4. Mezi těmito dávkami není žádný výraznější viditelný rozdíl, pouze v kádince č. 4 vločky o něco lépe sedimentovaly. Proto jsem si z ekonomických důvodů vybral jako vhodnější dávku 0,105 ml Aluminiumchloridu PAX 18, která se nalézá v kádince č. 3. S touto ideální dávkou jsem následně prováděl další měření.

6.3.4 Stanovení ideální dávky Síranu železitého 20 % u vzorku vody č.1.

U koagulačního činidla Síranu železitého jsem nevěděl, jaké množství činidla bude dostatečné, proto jsem vycházel s předchozích zjištění účinnosti tohoto koagulačního činidla, když jsem zkoumal jeho účinnost nebo neúčinnost. Z tohoto důvodu jsem zvolil jednotlivé dávky odhadem. Jednotlivé dávky jsou odstupňovány v násobcích a uvedeny v Tabulce 11. Jsou totožné pro všechny vzorky vody. Koagulační činidlo jsem dávkoval automatickou pipetou přímo do vzorku vody o objemu 150 ml, postup je popsán v kapitole: Stanovení ideální dávky (experimentálně). Dávky jsou již přepočítány na objem 150 ml.

Kádinka	Dávka [ml]
1	0,3
2	0,6
3	0,9
4	1,2

Tabulka 11 Tabulka dávek koagulačního činidla Síranu železitého 20 % do vzorku vody přepočítané na 150 ml

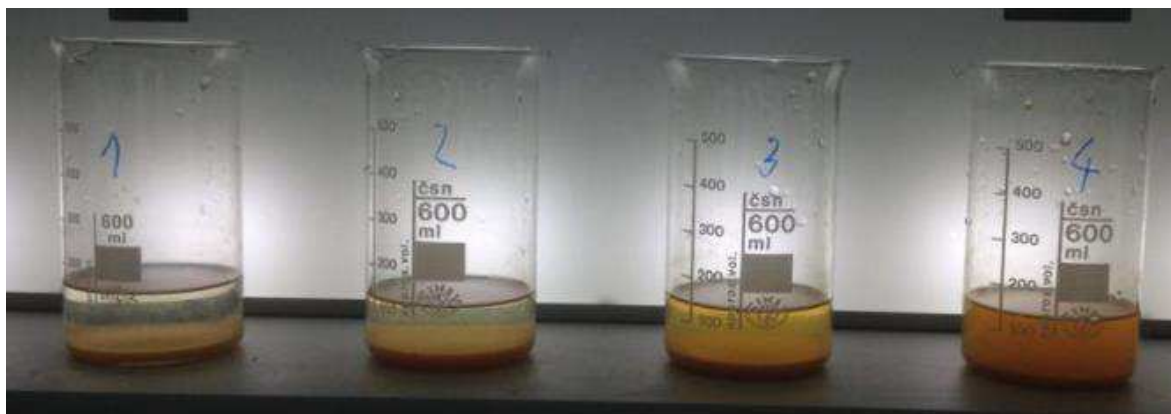


Obrázek 17 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Síran železitý 20 % na vzorek č.1[3]

Z Obrázku 17 je dobře viditelné, že množství vloček se v jednotlivých kádinkách příliš neliší. Proto jsem ideální dávku určil spíše podle míry zákalu, nejmenší viditelný zákal je v kádince č. 1. Také proto jsem si vybral ideální dávku 0,3 ml, která se nachází v kádince č. 1. S touto ideální dávkou jsem dále prováděl pokusy na odpadní vodě ze smaltovny.

6.3.5 Stanovení ideální dávky Síranu železitého 20 % u vzorku vody č. 2.

U koagulačního činidla Síranu železitého jsem nevěděl, jaké množství činidla bude dostatečné, proto jsem vycházel z předchozích zjištění účinnosti tohoto koagulačního činidla, ze zkoumání jeho účinnosti nebo neúčinnosti na daný vzorek odpadní vody. Z tohoto důvodu jsem zvolil jednotlivé dávky odhadem. Jednotlivé dávky jsou odstupňovány v násobcích a jsou uvedeny v Tabulce 11. Koagulační činidlo jsem dávkoval automatickou pipetou přímo do vzorku vody, postup je popsán v kapitole: Stanovení ideální dávky (experimentálně).



Obrázek 18 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Síran železitý 20 % na vzorek č.2 [3]

Z Obrázku 18 je dobře patrné, že množství vloček ve všech čtyřech kádinkách je přibližně stejné. Vzorek odpadní vody a koagulačního činidla se liší spíše jen zákalem. Nejmenší zákal byl u kádinky č. 1, ve které byla nejmenší dávka síranu železitého, a to 0,30 ml. S touto dávkou jsem pracoval i v dalším výzkumu, použil jsem ji jako ideální dávku i z ekonomického hlediska.

6.3.6 Stanovení ideální dávky Síranu železitého 20 % u vzorku vody č. 3.

U koagulačního činidla Síranu železitého jsem nevěděl, jaké množství činidla bude dostatečné, proto jsem vycházel z předchozích zjištění účinnosti tohoto koagulačního činidla, ze zkoumání jeho účinnosti nebo neúčinnosti na daný vzorek odpadní vody. Jednotlivé dávky jsou odstupňovány v násobcích a jsou uvedeny v Tabulce 11. Koagulační činidlo jsem dávkoval automatickou pipetou přímo do vzorku vody, postup je popsán v kapitole: Stanovení ideální dávky (experimentálně).



Obrázek 19 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Síran železitý 20 % na vzorek č.3 [3]

Jak je viditelné z Obrázku 19, malé množství koagulačního činidla síranu železitého nemělo dostatečnou účinnost, jak lze spatřit v kádinkách č. 1 a č. 2, v malém množství se nezmenšil ani zákal. To ve větší dávce koagulačního činidla je situace jiná, jak je patrné z obrázku. V kádince č. 3 a č. 4 se vytvořilo velké množství vloček, které dobře sedimentovaly, viditelně se i zmenšil zákal. Díky malému rozdílu mezi kádinkami č. 3 a č. 4 jsem si pro další pokusy vybral jako ideální dávku 0,9 ml, která je v kádince č. 3. Přihlédl jsem i na ekonomické hledisko při volbě této dávky. S touto optimální dávkou jsem následně pracoval při dalších pokusech na odpadní vodě.

6.3.7 Stanovení ideální dávky Chloridu železitého 25 % u vzorku vody č. 1.

U koagulačního činidla Chloridu železitého jsem nevěděl, jaká bude ideální dávka tohoto koagulačního činidla na vzorek vody č. 1. Z tohoto důvodu jsem dávku odhadoval experimentálně za pomoci zjištění z předchozího měření účinnosti a neúčinnosti jednotlivých koagulačních činidel. Dávku jsem určil v násobcích, jednotlivé dávky jsou v Tabulce 12. Pro všechny vzorky vody jsou dávky stejné. Všechny dávky jsem dávkoval do vzorku odpadní vody o objemu 150 ml pomocí automatické pipety. A další postup je popsán v kapitole: Stanovení ideální dávky (experimentálně).

Kádinka	Dávka [ml]
1	0,3
2	0,6
3	0,9
4	1,2

Tabulka 12 Tabulka dávek koagulačního činidla Chloridu železnatého 25 % do vzorku vody přepočítané na 150 ml



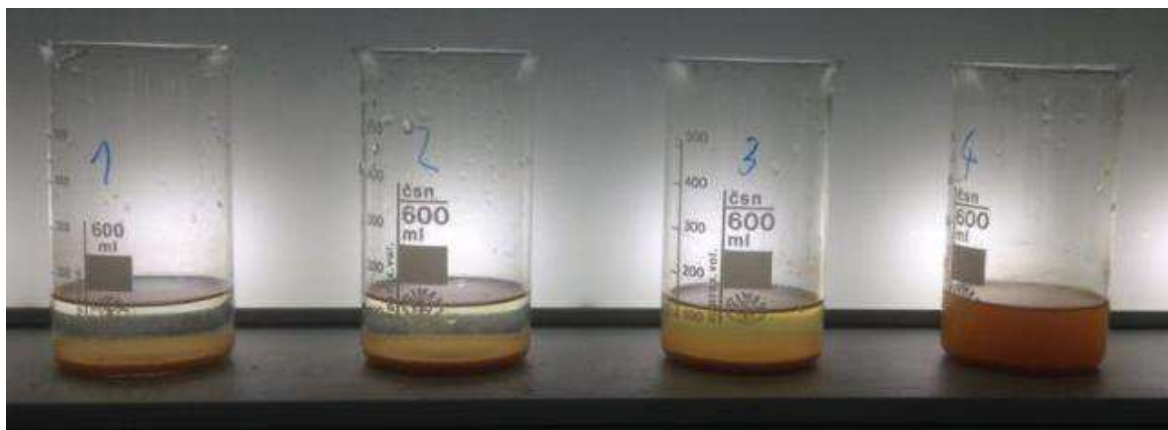
Obrázek 20 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Chloridu železnatého 25 % na vzorek č.1 [3]

Na Obrázku 20 je vidět účinnost koagulačního činidla Chloridu železnatého v jednotlivých dávkách. Z obrázku je viditelné, že koagulační činidlo vytvořilo ve všech vzorcích přibližně stejné množství vloček. Dále je z obrázku jasně viditelné množství zákalu u jednotlivých vzorků, nejmenší viditelný zákal je v kádinkách č. 1 a č. 2, proto jsem se rozhodl mezi těmito dávkami. Dávky v kádinkách č. 3 a č. 4 jsem vyloučil kvůli viditelně

se zvětšujícímú zákalu. Jako ideální dávku Chloridu železnatého jsem si vybral dávku 0,3 ml, která se nachází v kádince č. 1. K této dávce jsem přihlédl i z ekonomického hlediska. S touto optimální dávkou jsem následně pracoval při dalších pokusech na odpadní vodě.

6.3.8 Stanovení ideální dávky Chloridu železitého 25 % u vzorku vody č. 2.

U koagulačního činidla Chloridu železitého jsem nevěděl, jaká bude ideální dávka tohoto koagulačního činidla na vzorek odpadní vody č. 2. Z tohoto důvodu jsem dávku odhadoval experimentálně za pomoci zjištění z předchozího měření účinnosti a neúčinnosti jednotlivých koagulačních činidel. Dávku jsem určil v násobcích, jednotlivé dávky jsou v Tabulce 12. Všechny dávky jsem dávkoval do vzorku odpadní vody pomocí automatické pipety. A další postup je popsán v kapitole: Stanovení ideální dávky (experimentálně).



Obrázek 21 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Chloridu železnatého 25 % na vzorek č.2 [3]

Na Obrázku 21 je vidět účinnost koagulačního činidla Chloridu železnatého v jednotlivých dávkách. Z obrázku je viditelné, že koagulační činidlo vytvořilo ve všech vzorcích přibližně stejné množství vloček, až na kádinku č. 4, u které toto množství není vidět kvůli zákalu. Dále je z obrázku jasně viditelné množství zákalu u jednotlivých vzorků, nejmenší viditelný zákal je v kádinkách č. 1 a č. 2, proto jsem se rozhodoval mezi těmito dávkami. Dávky v kádinkách č. 3 a č. 4 jsem vyloučil kvůli viditelně se zvětšujícímú zákalu. Jako ideální dávku Chloridu železnatého jsem si vybral dávku 0,6 ml, která se nachází v kádince č. 2, a to i díky nejmenšímu zákalu. K této dávce jsem přihlédl i z ekonomického hlediska. S touto optimální dávkou jsem následně pracoval při dalších pokusech na odpadní vodě.

6.3.9 Stanovení ideální dávky Chloridu železitého 25 % u vzorku vody č. 3.

U koagulačního činidla Chloridu železitého jsem nevěděl, jaká bude ideální dávka tohoto koagulačního činidla na vzorek odpadní vody č. 3. Z tohoto důvodu jsem dávku odhadoval experimentálně za pomoci zjištění z předchozího měření účinnosti a neúčinnosti jednotlivých koagulačních činidel. Dávku jsem určil v násobcích, jednotlivé dávky jsou v Tabulce 12. Všechny dávky jsem dávkoval do vzorku odpadní vody pomocí automatické pipety. A další postup je popsán v kapitole: Stanovení ideální dávky (experimentálně).



Obrázek 22 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Chloridu železnatého 25 % na vzorek č.3 [3]

Na Obrázku 22 je vidět účinnost koagulačního činidla Chloridu železnatého na vzorek odpadní vody č. 3 v jednotlivých dávkách koagulačního činidla. Na obrázku je viditelné množství vloček, které se vytvořilo v jednotlivých kádinkách. Množství vloček je přibližně stejné ve všech kádinkách, pouze v kádince č. 1 není viditelné kvůli velkému zákalu. Z důvodu přibližně stejného množství vloček jsem se rozhodoval nad optimální dávkou pomocí viditelného zákalu v jednotlivých kádinkách. Nejmenší množství zákalu je v kádinkách č. 3 a č. 4. Zákal v obou kádinkách je přibližně stejný. Z tohoto důvodu jsem si jako ideální dávku na vzorek vody č. 3 vybral dávku 0,9 ml koagulačního činidla, tato dávka se nachází v kádince č. 3. Při své volbě jsem vycházel i z ekonomického hlediska. S touto optimální dávkou jsem následně pracoval při dalších pokusech na odpadní vodě.

6.4 Změna pH a vodivosti vzorku při optimální dávce koagulačního činidla

Po určení ideální dávky koagulačních činidel jsem měřil pH a vodivost, tyto hodnoty jsem zjišťoval pomocí pH metru (potenciometricky). Hodnotu pH a vodivosti jsem určoval pouze u vzorku č. 3 (na přítoku) a č. 2 (prostřední komora). Tyto hodnoty změny pH a vodivosti jsem dal do 2 tabulek.

Vzorek	pH	Vodivost [mS/m]
č.2	8,56	239
č.2 s Aluminiumchloridu Pax 18	7,11	260
č.2 se Síran železitý 20 %	6,53	256
č.2 s Chloridem železitým 25 %	5,66	283

Tabulka 13 Tabulka změny pH a vodivosti při optimální dávce koagulačního činidla do vzorku vody č.2

Z Tabulky 13 je zřejmé, že po přidání koagulačního činidla se u všech vzorků snížila hodnota pH, nejvíce se hodnota pH snížila po přidání Chloridu železitého na hodnotu 5,66. Po přidání Síranu železitého se hodnota pH snížila na 6,53. Nejmenší změna nastala po přidání optimální dávky Aluminiumchloridu Pax 18 na 7,11. Změna vodivosti po přidání koagulačního činidla je opačná, hodnota vodivosti se u všech vzorků zvýšila. Největší změna vodivost nastala po přidání Chloridu železitého na 283 mS/m. Změna vodivosti u koagulačního činidla Aluminiumchloridu Pax 18 byla 253 mS/m. Nejmenší zvětšení vodivosti nastalo po přidání Síranu železitého na 256 mS/m.

Vzorek	pH	Vodivost [mS/m]
č. 3	8,93	242
č.3 s Aluminiumchloridu Pax 18	8,33	374
č.3 se Síran železitý 20 %	7,06	395
č.3 s Chloridem železitým 25 %	6,88	423

Tabulka 14 Tabulka změny pH a vodivosti při optimální dávce koagulačního činidla do vzorku vody č.3

Z Tabulky 14 je zřejmé, že po přidání koagulačního činidla se u všech vzorků snížila hodnota pH a zvýšila se hodnota vodivosti. Největší snížení pH nastalo po přidání koagulačního činidla Chloridu železitého na hodnotu 6,88. Po přidání Síranu železitého se hodnota pH snížila na 7,06. Nejméně se hodnota pH snížila u koagulačního činidla Aluminiumchloridu Pax 18 na hodnotu 8,33. U změny vodivosti je situace opačná, nejmenší zvýšení vodivosti nastalo po přidání Aluminiumchloridu Pax 18 na hodnotu 374 mS/m. U Síranu železitého se hodnota vodivosti zvýšila na hodnotu 395 mS/m. Největší zvýšení vodivosti nastalo u Chloridu železitého na 423 mS/m.

6.5 CHSK_{Mn} odpadní vody při nadávkování optimální dávky koagulačního činidla

Dalším krokem v mém výzkumu byla změna CHSK_{Mn}, při použití experimentální optimální dávky na jednotlivé vzorky odpadní vody ze smaltovny. Pracovní postup je popsán v kapitole: Chemická spotřeba kyslíku.

6.5.1 CHSK_{Mn} vzorku vody č. 3 po přidání optimálních dávek koagulačních činidel

Jako první jsem stanovoval změnu CHSK_{Mn} na přítoku do odlučovače. Vyhodnocoval jsem CHSK_{Mn} na vzorek vody č. 3. Výsledky změny CHSK_{Mn} jsou uvedeny v Tabulce 15.

Vzorek	V _{Vz} [ml]	V _{KMnO₄} [ml]	CHSK _{Mn} [mg/l O ₂]
č. 3	10	5,94	46,08
č.3 s Aluminiumchloridu Pax 18	50	6,25	9,712
č.3 se Síran železitý 20 %	50	4,45	6,832
č.3 s Chloridem železitým 25 %	50	5,8	8,992

Tabulka 15 Změny CHSK_{Mn} po přidání optimální dávky koagulačního činidla do vzorku vody č.3

Jak můžeme vidět, po přidání koagulačních činidel do vzorku vody č. 3 se několikanásobně snížila hodnota CHSK_{Mn} u všech vzorků s koagulačním činidlem. K největšímu snížení CHSK_{Mn} došlo po přidání optimální dávky Síranu železitého, a to na hodnotu CHSK_{Mn} 6,83 mg/l O₂. Po přidání Chloridu železitého se změnila hodnota CHSK_{Mn} na 8,99 mg/l O₂. K nejmenší změně v CHSK_{Mn} došlo po přidání Aluminiumchloridu Pax 18 na 9,71 mg/l O₂.

6.5.2 CHSK_{Mn} vzorku vody č. 2 po přidání optimálních dávek koagulačních činidel

Další měření změny CHSK_{Mn} jsem provedl na vzorku z prostřední komory odlučovače, vzorek č. 2. Výsledky změn CHSK_{Mn} jsou uvedeny v Tabulce 16.

Vzorek	V _{Vz} [ml]	V _{KMnO₄} [ml]	CHSK _{Mn} [mg/l O ₂]
č. 2	50	4,15	6,352
č.2 s Aluminiumchloridu Pax 18	100	6,25	4,856
č.2 se Síran železitý 20 %	100	4,45	3,416
č.2 s Chloridem železitým 25 %	100	5,8	4,496

Tabulka 16 Změny CHSK_{Mn} po přidání optimální dávky koagulačního činidla do vzorku vody č.2

Z tabulky můžeme vyčíst snížení hodnoty CHSK_{Mn} u vzorku vody č. 2 u všech koagulačních činidel. K největšímu snížení CHSK_{Mn} došlo u koagulačního činidla Síranu železitého na hodnotu 3,416 mg/l O₂. U Chloridu železitého se snížila hodnota CHSK_{Mn} na hodnotu 4,496 mg/l O₂. K nejmenšímu snížení CHSK_{Mn} došlo u koagulačního činidla Aluminiumchloridu Pax 18 na hodnotu 4,856 mg/l O₂.

6.5.3 CHSK_{Mn} vzorku vody č. 1 po přidání optimálních dávek koagulačních činidel

Jako poslední jsem stanovoval změnu CHSK_{Mn} na vzorku vody č. 1, který byl odebrán na výtoku z odlučovače. Výsledky změn CHSK_{Mn} jsou uvedeny v Tabulce 17.

Vzorek	V_{Vz} [ml]	V_{KMnO_4} [ml]	CHSK_{Mn} [mg/l O_2]
č. 1	50	4,12	6,304
č.1 s Aluminiumchloridu Pax 18	100	4,55	3,496
č.1 se Síran železitý 20 %	100	2,93	2,2
č.1 s Chloridem železitým 25 %	100	4,92	3,792

Tabulka 17 Změny CHSK_{Mn} po přidání optimální dávky koagulačního činidla do vzorku vody č.1

Z tabulky můžeme vyčíst snížení hodnoty CHSK_{Mn} u vzorku vody č. 1 u všech koagulačních činidel. Největší snížení hodnoty CHSK_{Mn} nastalo u koagulačního činidla Síranu železitého na hodnotu CHSK_{Mn} 2,2 mg/l O_2 . U Chloridu železitého se snížila hodnota CHSK_{Mn} na hodnotu 3,792 mg/l O_2 . K snížení hodnoty CHSK_{Mn} došlo i u Aluminiumchloridu Pax 18 na hodnotu 3,496 mg/l O_2 .

6.6 Množství nerozpuštěných látek po přidání optimální dávky koagulačního činidla

Ve svém výzkumu jsem také zkoumal změnu množství nerozpuštěných látek v závislosti na koagulačním činidle v optimální dávce. Nerozpuštěné látky jsem určoval pouze u vzorků vody č. 2 a č. 3. Všechny vzorky byly odsazené. Pracovní postup je popsán v kapitole: Stanovení množství nerozpuštěných látek.

6.6.1 Stanovení množství nerozpuštěných látek po přidání optimální dávky koagulačního činidla do vzorku vody č. 3

U optimálních dávek koagulačních činidel jsem zkoumal snížení množství nerozpuštěných látek na vzorku vody č. 3. Množství nerozpuštěných látek je uvedeno v Tabulce 18.

Vzorek	Množství vzorku [l]	Nerozpuštěné látky v [g/l]
č. 3	0,01	27,36
č.3 s Aluminiumchloridu Pax 18	0,02	7,425
č.3 se Síran železitý 20 %	0,02	3,08
č.3 s Chloridem železitým 25 %	0,02	0,82

Tabulka 18 Snížení množství nerozpuštěných látek u vzorku vody č.3 po přidání optimálních dávek koagulačních činidel

Z Tabulky 18 můžeme vyčíst, že množství nerozpuštěných látek se několikanásobně snížilo ve vzorku vody č. 3. K největšímu snížení nerozpuštěných látek došlo u koagulačního činidla Chloridu železitého na hodnotu 0,82 g/l. U Síranu železitého se zmenšilo množství nerozpuštěných látek na hodnotu 3,08 g/l. U Aluminiumchloridu Pax 18 se snížilo množství nerozpuštěných látek na hodnotu 7,425 g/l.

6.6.2 Stanovení množství nerozpuštěných látek po přidání optimální dávky koagulačního činidla do vzorku vody č. 2

U optimálních dávek koagulačních činidel jsem zkoumal snížení množství nerozpuštěných látek na vzorku vody č. 2. Množství nerozpuštěných látek je uvedeno v Tabulce 19.

Vzorek	Množství vzorku [l]	Nerozpuštěné látky v [g/l]
č. 2	0,05	0,284
č.2 s Aluminiumchloridu Pax 18	0,03	0,033
č.2 se Síran železitý 20 %	0,03	0,010
č.2 s Chloridem železitým 25 %	0,03	0,013

Tabulka 19 Snížení množství nerozpuštěných látek u vzorku vody č.2 po přidání optimálních dávek koagulačních činidel

Z Tabulky 19 můžeme vyčíst, že množství nerozpuštěných látek se několikanásobně snížilo ve vzorku vody č. 2. K největšímu snížení nerozpuštěných látek došlo u koagulačního činidla Síranu železitého na hodnotu 0,010 g/l. U Chloridu železitého se zmenšilo množství nerozpuštěných látek na hodnotu 0,013 g/l. U Aluminiumchloridu Pax 18 se snížilo množství nerozpuštěných látek na hodnotu 0,033 g/l.

6.7 Snížení zákalu u vzorků vody při optimálních dávkách koagulačních činidel

Jako poslední jsem u vzorků vody č. 3 a č. 2 zkoumal snížení zákalu při optimální dávce koagulačních činidel. Zákal jsem měřil na spektrofotometru. Vzorky vody byly osazeny. Pracovní postup byl popsán v kapitole: Stanovení zákalu.

6.7.1 Zmenšení zákalu ve vzorku vody č. 3 s optimálními dávkami koagulačních činidel

U vzorku vody č. 3 jsem určoval zákal po přidání optimálního množství koagulačního činidla. Změny hodnot zákalu jsou uvedeny v Tabulce 20.

Vzorek	Hodnota zákalu [ZF]
č. 3	Nad měřitelný rozsah
č.3 s Aluminiumchloridu Pax 18	Nad měřitelný rozsah
č.3 se Síran železitý 20 %	Nad měřitelný rozsah
č.3 s Chloridem železitým 25 %	Nad měřitelný rozsah

Tabulka 20 Zákal u vzorku vody č.3 po přidání optimální dávky koagulačního činidla

Z Tabulky 20 vyplývá, že zákal u vzorku vody č. 3 bohužel stále vyšší, než je měřitelná hodnota ZF.

6.7.2 Zmenšení zákalu ve vzorku vody č. 2 s optimálními dávkami koagulačních činidel

U vzorku vody č. 2 jsem určoval zákal po přidání optimálního množství koagulačního činidla. Změny hodnot zákalu jsou uvedeny v Tabulce 21.

Vzorek	Hodnota zákalu [ZF]
č. 2	196,95
č.2 s Aluminiumchloridu Pax 18	15,02
č.2 se Síran železitý 20 %	15,76
č.2 s Chloridem železitým 25 %	26,50

Tabulka 21 Zakal u vzorku vody č. 2 po přidání optimální dávky koagulačního činidla

Z Tabulky 21 můžeme vyčíst, že hodnota zákalu se po přidání koagulačních činidel několikanásobně zmenšila, všechny hodnoty jsou již měřitelné. Nejvíce se snížil zákal u vzorku vody č. 2 při použití koagulačního činidla Aluminiumchloridu Pax 18 na hodnotu 15,02 ZF. U Síranu železitého došlo ke snížení zákalu na hodnotu 15,76 ZF. U Chloridu železitého také došlo ke snížení zákalu na hodnotu 26,50 ZF.

7 DISKUSE

V bakalářské práci jsem se seznamoval s problematikou úpravy průmyslových odpadních vod ze smaltovny. Ve svém výzkumu bych chtěl do budoucna pokračovat v diplomové práci a hlouběji se zabývat danou problematikou.

Hlouběji bych se podíval na účinnost koagulačních činidel, zejména na jejich účinnou dávku při čištění odpadních vod ze smaltovny. Nyní jsem se zabýval odpadní vodou v odlučovači ve Vítkovících ENVI, kde jsem odebíral vzorky ze tří komor odlučovače. Experimenty jsem prováděl pouze na vzorcích ze dvou komor, vstupní a střední komory. Bylo by užitečné rozšířit výzkum o třetí komoru, která je výstupní a nejdůležitější.

Zvažoval jsem také vhodnost použití koagulačního činidla do jednotlivých komor odlučovače. Jako vhodnější bych považoval použití koagulantu do střední komory, kde se nachází voda zbavená usazených nerozpuštěných látek. Dávkováním koagulantu do střední komory by bylo účinnější a ekonomičtější než do vstupní komory. Hodnoty nerozpuštěných látek i zákalu by dosahovaly nižších a přijatelnějších hodnot.

8 ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem si vybral téma Intenzifikace separace nerozpuštěných látek z odpadních vod ze smaltovny, mým cílem bylo zjistit možnost využití koagulačních činidel na tuto průmyslovou odpadní vodu.

Zabýval jsem se nejen typy činidel ale i jejich účinností a dále použitelnou koncentrací využitelnou pro čištění průmyslové vody. Pro výzkum jsem použil průmyslovou vodu ze smaltovny, která byla odebírána ze tří komor odlučovače, který se používá ve smaltovně Vítkovice ENVI. Jednotlivé vzorky odpadních vod jsem testoval na množství nerozpuštěných látek, zákal, CHSK_{Mn} a pH.

Výsledky svého měření jsem přehledně zpracoval do tabulek, výsledky experimentů jsou viditelné i na obrázcích.

Jako nejvhodnější koagulační činidla jsem vyhodnotil 20 % Síran železitý a 25 % Chlorid železitý. Tyto činidla výrazně snížily množství nerozpuštěných látek ve dvou sledovaných vzorcích, vzorek č.3 (přítok do odlučovače) by ani po přidání koagulantů nevyhověl limitům. Hodnoty zákalu se také podařilo snížit po použití koagulantů u vzorku č.2. Je nutno zohlednit, že při použití u koagulantu 25 % Chloridu železitého hodnota pH odpadní vody klesala pod minimální limit. Z tohoto důvodu by bylo vhodnější použití koagulantu 20 % Síranu železitého k úpravě průmyslové odpadní vody ze smaltovny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOUŠE, V, A KRAJINA a A MORAVČÍK. Smalty a jejich použití v protikorozi ochraně. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, s. 216.
- [2] DIETZEL, A. Was ist Email: Sprechsal Keram. Glass Email, 1940. S.63-64.
- [3] Vojtěch Hrabec
- [4] HÜBNER, Pavel. Úprava vody v energetice: Pavel Hübner. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-873-3.
- [5] KAREL, V. Voda a smaltování. Vady ve smaltech. Libnice, 1996, , 1-9.
- [6] KŘÍŽKOVÁ, Eliška. Provozní řád odlučovač I. a II. Ostrava Vítkovice, 2018.
- [7] LITVÍNOVÁ, E. Metal dla emalirovanija: Metalurgija. Moskva, 1975.
- [8] MAIDLOVÁ, KATEŘINA. Problematika stanovení vybraných polutantů v odpadních vodách. Brno, 2010. Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně.
- [9] MALÝ, Josef a Petr HLAVÍNEK. Čištění průmyslových odpadních vod. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-860-2005-3.
- [10] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. Chemie a technologie vody. 2., dopl. vyd. Brno: ARDEC, c2006. ISBN 80-860-2050-9.
- [11] MENČÍK, Jaroslav. Pevnost a lom skla a keramiky. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. Redakce literatury spotřebního průmyslu. ISBN 80-030-0205-2.
- [12] MOHYLA, M, J PODJUKLOVÁ a Z BASTL. A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE PHASE BOUNDARY BETWEEN METAL AND VITREOUS ENAMEL: Ceramics - Silikáty. 1990, roč.34(č.4), 299-306. ISSN 62-5468.
- [13] PITTEK, Pavel. Hydrochemie. 5., přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. ISBN 978-80-7080-928-0.
- [14] PODJUKLOVÁ, J. Studium vlastností systému kov-sklovitý smaltový povlak: habilitační práce. Ostrava, 2000. S.169.

- [15] PODJUKLOVÁ, Jitka. Nové obzory v poznání vlastností sklokeramických smaltovaných povlaků. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 978-802-4823-393.
- [16] REPPEROVÁ, Sylva. Technologické listy. Ostrava Vítkovice, 2016.
- [17] SÝKORA, Vladimír, Hana KUJALOVÁ a Pavel PITTER. Hydrochemie pro studenty bakalářského studia. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-807-0809-495.
- [18] VURM, Radek a Martin BYSTRIANSKÝ. Čištění odpadních vod pomocí koagulace. Praha.
- [19] Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění pozdějších předpisů. In: . 2015, ročník 2015, č.401/2015 Sb.
- [20] PETRŮ, Adolf. Průmyslové odpadní vody. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961.
- [21] Technologická návodka: Povrchové, pitné a odpadní vody. Stanovení CHSK manganistanem draselným podle Kubela (CHSKmn). VŠB, 1994.
- [22] Rozbory vody podrobně: Stanovení zákalu [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.vo-da.cz/rozbory-vody-podrobne/stanoveni-zakalu/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

A_o - atomová hmotnost kyslíku $A_o = 16 \text{ g/mol}$.

BSK – Biochemická spotřeba kyslíku

BSK₅ – Biochemická spotřeba kyslíku po pěti dnech

c_{KMnO_4} - Látková koncentrace odměrného roztoku c_{KMnO_4}

f_t - titrační přepočítávací faktor = 5/2

CHSK_{Cr} Chemická spotřeba kyslíku dichromanem

CHSK_{Mn} – Chemická spotřeba kyslíku manganistanem

CHSK – Chemická spotřeba kyslíku

KNK – Kyselinová neutralizační kapacita

pH – Záporný dekadický logaritmus aktivity oxoniových kationtů

Ra – Reakční poloměr

RAS – Rozpuštěné anorganické soli

Sb. – Sbírka zákonů

TOC – Celkový organický uhlík

TSK – Teoretická spotřeba kyslíku

V_{KMnO_4} - Objem odměrného roztoku $KMnO_4$ spotřebovaného při titraci vzorku v ml

V_{Sl} - Objem odměrného roztoku $KMnO_4$ spotřebovaného při titraci slepého Stanovení v ml

V_{Vz} - Objem odpipetovaného vzorku ke stanovení v ml

ZNK – Zásadová neutralizační kapacita

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Kulový mlýn, foto autor [3]	7
Obrázek 2 Odlučovač č.1 [6]	19
Obrázek 3 Pohled do odlučovače I. [3].....	20
Obrázek 4 Účinnost síranu železitého [3]	29
Obrázek 5 Účinnost Preflok [3]	30
Obrázek 6 Účinnosti Chloridu železitého [3]	31
Obrázek 7 Účinnosti chloridu železitého [3]	32
Obrázek 8 Účinnost síranu železnatého [3]	33
Obrázek 9 Účinnost síranu železitého [3]	34
Obrázek 10 Účinnost Kemira PAX - HP 800wP [3]	35
Obrázek 11 Účinnost Polyaluminium chloridu PAX - XL60 [3]	36
Obrázek 12 Účinnost Polyaluminiumchloridu PAX XL 19 [3].....	37
Obrázek 13 Účinnost Polyaluminium chloridu PAX 18 [3].....	38
Obrázek 14 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Aluminiumchloridu PAX 18 na vzorek č.1 [3]	43
Obrázek 15 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Aluminiumchloridu PAX 18 na vzorek č.2 [18]	44
Obrázek 16 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Aluminiumchloridu PAX 18 na vzorek č.3 [3]	45
Obrázek 17 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Síran železitý 20 % na vzorek č.1[3]	46
Obrázek 18 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Síran železitý 20 % na vzorek č.2 [3]	47

Obrázek 19 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Síran železitý 20 % na vzorek č.3 [3]	48
Obrázek 20 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Chloridu železnatého 25 % na vzorek č.1 [3]	49
Obrázek 21 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Chloridu železnatého 25 % na vzorek č.2 [3]	50
Obrázek 22 Výsledek jednotlivých dávek koagulačního činidla Chloridu železnatého 25 % na vzorek č.3 [3]	51

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Tabulka maximálních přípustných hodnot pro vypouštění průmyslových odpadních vod do kanalizace podle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [19]	5
Tabulka 2 Tabulka přípustného znečištění na odtoku ze smaltovny[16].....	15
Tabulka 3 Hodnoty pH, vodivosti.....	21
Tabulka 4 Výsledky CHSK _{MN} vzorků	25
Tabulka 5 Hodnoty zákalu vstupních vzorků	26
Tabulka 6 Množství nerozpuštěných látek ve vzorcích.....	27
Tabulka 7 Změna hodnoty pH a vodivosti v závislosti na koagulačním a činidlu a jeho účinnost.....	39
Tabulka 8 Změna hodnoty pH a vodivosti v závislosti na koagulačním a činidlu a jeho účinnost.....	40
Tabulka 9 Změna hodnoty pH a vodivosti v závislosti na koagulačním činidlu a jeho účinnost	41
Tabulka 10 Tabulka dávek koagulačního činidla Aluminiumchlorid PAX 18 do vzorku vody přepočítané na 150 ml.....	43
Tabulka 11 Tabulka dávek koagulačního činidla Síranu železitého 20 % do vzorku vody přepočítané na 150 ml.....	46
Tabulka 12 Tabulka dávek koagulačního činidla Chloridu železnatého 25 % do vzorku vody přepočítané na 150 ml.....	49
Tabulka 13 Tabulka změny pH a vodivosti při optimální dávce koagulačního činidla do vzorku vody č.2.....	52
Tabulka 14 Tabulka změny pH a vodivosti při optimální dávce koagulačního činidla do vzorku vody č.3.....	53
Tabulka 15 Změny CHSK _{Mn} po přidání optimální dávky koagulačního činidla do vzorku vody č.3.....	54

Tabulka 16 Změny CHSK_{Mn} po přidání optimální dávky koagulačního činidla do vzorku vody č.2.....	55
Tabulka 17 Změny CHSK_{Mn} po přidání optimální dávky koagulačního činidla do vzorku vody č.1.....	56
Tabulka 18 Snížení množství nerozpuštěných látek u vzorku vody č.3 po přidání optimálních dávek koagulačních činidel.....	57
Tabulka 19 Snížení množství nerozpuštěných látek u vzorku vody č.2 po přidání optimálních dávek koagulačních činidel.....	58
Tabulka 20 Zakal u vzorku vody č.3 po přidání optimální dávky koagulačního činidla	59
Tabulka 21 Zakal u vzorku vody č. 2 po přidání optimální dávky koagulačního činidla ...	60